铸工实用手册

杜西灵 杜 磊 编著

★ 提供实用铸造技术数据

★ 成就优秀铸造技术人才

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

铸 工 实 用 手 册

杜西灵　杜　磊　编著

机 械 工 业 出 版 社

本手册是一本铸造工人必备的实用技术工具书。其内容包括：铸造合金、铸造合金熔炼、砂型铸造工艺基础、造型材料、砂型（芯）的制造、铸型浇注、铸件的落砂与清理、铸件质量检验及评定、熔模铸造、陶瓷型铸造、负压（V法）造型、压力铸造、铸造相关计算。本手册以图表为主，内容系统全面，手册中所列数据和资料大部分来自生产实践和相关最新标准，实用性强。

本手册可供铸造工人、技术人员查阅和使用，也可供相关专业在校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

铸工实用手册/杜西灵，杜磊编著.—北京：机械工业出版社，2011.12
ISBN 978-7-111-36502-0

Ⅰ.①铸…　Ⅱ.①杜…②杜…　Ⅲ.①铸造-技术手册　Ⅳ.①TG2-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第238518号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：陈保华　责任编辑：陈保华　白　刚
版式设计：霍永明　责任校对：陈秀丽　胡艳萍
封面设计：姚　毅　责任印制：杨　曦
北京京丰印刷厂印刷
2012年2月第1版·第1次印刷
169mm×239mm·54印张·2插页·1211千字
0 001—3 000册
标准书号：ISBN 978-7-111-36502-0
定价：118.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	编辑热线：（010）88379734
社服务中心：（010）88361066	网络服务
销售一部：（010）68326294	门户网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649	教材网：http://www.cmpedu.com
读者购书热线：（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　　言

铸造是制造业的重要组成部分，是汽车、石化、钢铁、电力、造船、纺织、装备制造等支柱产业的基础，对国民经济的发展及国防力量的增强起着重要的作用。至今，我国已自主研发出一批关乎装备制造业核心配件的大型、高端铸件，例如，世界最大的单体球墨铸铁件、世界最先进的燃气内燃机机架、风电和核电等大型关键铸件等。这些高端、大型核心铸件，意味着我国在连续十年保持铸件产量世界第一的同时，我国的铸造业已展开了对高端铸件自主制造的攻坚战略。技术是工业核心竞争力，技术创造优势，只有具备技术优势的铸造工人，才能生产出具有竞争力的铸件产品。为了促进我国铸造工人技术水平的提高，我们从铸造生产实际出发，根据铸造技术相关最新标准，结合《国家职业技能标准：铸造工（2009 年修订）》，编写了这本《铸工实用手册》。

本手册共 13 章，内容包括：铸造合金、铸造合金熔炼、砂型铸造工艺基础、造型材料、砂型（芯）的制造、铸型浇注、铸件的落砂与清理、铸件质量检验及评定、熔模铸造、陶瓷型铸造、负压（V 法）造型、压力铸造、铸造相关计算。本手册以图表为主，内容系统全面，手册中所列数据和资料大部分来自生产实践和相关最新标准，实用性强。本手册可为铸造工人、技术人员，以及相关专业在校师生在查阅相关铸造技术资料、选择合理的铸造工艺方案和工艺参数、提高操作技能、保证铸件质量等方面提供帮助。我们衷心希望这本手册能为读者提供实用、先进的铸造技术支持，以促进我国铸造技术的发展。

本手册第 1 章、第 10 章、第 13 章由杜磊编写，其余由杜西灵编写，全书由杜西灵统稿。

在本手册编写过程中，参考了国内外同行的大量文献资料，谨向有关人员表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和错误之处，敬请广大读者指正。

作　者

目　　录

前言
第 1 章　铸造合金 …… 1
1.1　铸钢 …… 1
1.1.1　铸钢分类及牌号表示方法 …… 1
1.1.2　铸造碳钢 …… 3
1.1.3　铸造低合金钢 …… 6
1.1.4　铸造耐磨钢 …… 12
1.1.5　铸造耐热钢和合金 …… 13
1.1.6　铸造不锈钢 …… 16
1.2　铸铁 …… 19
1.2.1　铸铁分类及牌号表示方法 …… 19
1.2.2　灰铸铁 …… 22
1.2.3　球墨铸铁 …… 26
1.2.4　蠕墨铸铁 …… 32
1.2.5　可锻铸铁 …… 34
1.2.6　抗磨铸铁 …… 37
1.2.7　冷硬铸铁 …… 41
1.2.8　耐热铸铁 …… 44
1.2.9　高硅耐蚀铸铁 …… 46
1.3　铸造非铁合金 …… 47
1.3.1　铸造铝合金 …… 47
1.3.2　铸造镁合金 …… 49
1.3.3　铸造铜合金 …… 51
1.3.4　铸造锌合金 …… 62
1.3.5　铸造轴承合金 …… 63
第 2 章　铸造合金熔炼 …… 68
2.1　碱性电弧炉氧化法炼钢 …… 68
2.1.1　电弧炉的基本结构与型号 …… 68
2.1.2　炼钢用原材料 …… 71
2.1.3　配料与调整成分计算 …… 75
2.1.4　氧化法炼钢过程及控制 …… 77
2.1.5　氧化法炼钢的合理供电制度 …… 85
2.1.6　碳钢、合金钢氧化法熔炼工艺 …… 88
2.1.7　初炼钢液与炉外精炼 …… 97
2.2　感应电炉炼钢 …… 102

2.2.1　炼钢用感应电炉 …… 102
2.2.2　制备坩埚 …… 103
2.2.3　酸性感应电炉炼钢工艺 …… 105
2.2.4　碱性感应电炉炼钢工艺 …… 107
2.3　冲天炉熔炼铸铁 …… 110
2.3.1　冲天炉的技术要求 …… 110
2.3.2　冲天炉的基本结构、参数及专用风机 …… 110
2.3.3　冲天炉熔炼的基本原理 …… 118
2.3.4　冲天炉炉料 …… 119
2.3.5　冲天炉的主要工艺参数及配料计算 …… 121
2.3.6　冲天炉操作及炉况判断 …… 125
2.3.7　冲天炉熔炼的检测技术 …… 130
2.3.8　冲天炉熔炼常见故障及排除方法 …… 134
2.3.9　孕育铸铁的熔炼工艺 …… 137
2.3.10　球墨铸铁的熔炼工艺 …… 140
2.3.11　铸铁的脱硫技术 …… 147
2.4　感应电炉熔炼铸铁 …… 149
2.4.1　无芯感应电炉熔炼铸铁 …… 149
2.4.2　冲天炉-无芯感应电炉双联熔炼 …… 155
2.4.3　有芯感应电炉熔炼铸铁 …… 157
2.5　非铁合金的坩埚炉熔炼 …… 158
2.5.1　坩埚熔炼炉 …… 158
2.5.2　铸造铝合金的熔炼 …… 158
2.5.3　铸造镁合金的熔炼 …… 164
2.5.4　铸造铜合金的熔炼 …… 167
2.5.5　铸造锌合金的熔炼 …… 174
第3章　砂型铸造工艺基础 …… 177
3.1　砂型铸造的技术解决方案及选择 …… 177
3.1.1　手工造型（芯）的解决方案 …… 177
3.1.2　湿型砂机器造型（芯）的解决方案 …… 178
3.1.3　干型和表干型方案 …… 181
3.1.4　水玻璃砂造型（芯）的解决方案 …… 182
3.1.5　自硬树脂砂造型（芯）的解决方案 …… 183
3.1.6　实型铸造与实型负压铸造方案 …… 184
3.1.7　负压造型解决方案 …… 186
3.2　铸造工艺方案的确定 …… 187
3.2.1　零件结构的铸造工艺性分析 …… 187
3.2.2　浇注位置的确定原则 …… 188
3.2.3　分型面的选择原则 …… 189
3.2.4　砂箱中铸件的数量和排列 …… 190

3.3 铸造工艺参数 …… 191
3.3.1 铸造线收缩率 …… 191
3.3.2 起模斜度 …… 193
3.3.3 工艺补正量 …… 195
3.3.4 铸件尺寸公差 …… 197
3.3.5 铸件重量公差 …… 199
3.3.6 机械加工余量 …… 200
3.3.7 分型负数 …… 200
3.3.8 铸件最小壁厚 …… 201
3.3.9 铸件最小铸孔和槽 …… 202
3.4 浇注系统 …… 202
3.4.1 浇注系统的组成和作用 …… 203
3.4.2 浇注系统的结构形式 …… 207
3.4.3 铸钢件的浇注系统尺寸 …… 213
3.4.4 铸铁件的浇注系统尺寸 …… 217
3.4.5 非铁合金铸件的浇注系统尺寸 …… 232
3.4.6 内浇道位置的开设原则 …… 242
3.5 冒口 …… 243
3.5.1 冒口的作用、种类、形状和设置 …… 243
3.5.2 铸件热节与冒口的补缩能力 …… 246
3.5.3 铸钢件冒口 …… 261
3.5.4 铸铁件冒口 …… 275
3.5.5 非铁合金铸件冒口 …… 280
3.6 冷铁 …… 282
3.6.1 冷铁的作用、类型及应用 …… 282
3.6.2 铸钢件的冷铁 …… 283
3.6.3 铸铁件的冷铁 …… 289
3.6.4 非铁合金铸件的内冷铁 …… 293
3.7 出气孔 …… 294
3.7.1 出气孔的作用、设置原则 …… 294
3.7.2 出气孔的形状和尺寸 …… 295
3.8 工艺肋 …… 296
3.8.1 防裂肋 …… 296
3.8.2 防变形肋 …… 297
3.9 芯头尺寸与间隙 …… 298
3.9.1 垂直芯头的高度、斜度和间隙 …… 298
3.9.2 水平芯头的长度、斜度和间隙 …… 299
3.9.3 压环、防压环和集砂槽的尺寸 …… 301
3.9.4 芯头尺寸的验算 …… 301
3.10 铸造工艺文件 …… 303

3.10.1　铸造工艺符号 …… 303
3.10.2　工艺文件的类型 …… 310
3.10.3　铸造工艺图 …… 312
3.10.4　铸造工艺卡 …… 312
3.10.5　铸造工艺 CAD 的基本概念 …… 315
3.11　铸造工艺技术解决方案案例 …… 316
3.11.1　耐磨高锰钢铸件铸造工艺方案 …… 316
3.11.2　耐磨低合金钢铸件铸造工艺案例 …… 321
3.11.3　铸钢阀体的铸造工艺解决方案 …… 322
3.11.4　铸钢大型齿轮的铸造工艺解决方案 …… 325
3.11.5　箱体类、筒体类、轮盘类铸铁件的铸造工艺方案特点 …… 328
第4章　造型材料 …… 329
4.1　铸造用原砂 …… 329
4.1.1　硅砂 …… 329
4.1.2　特种砂 …… 332
4.2　粘土砂 …… 336
4.2.1　粘结剂——粘土 …… 336
4.2.2　辅助材料 …… 340
4.2.3　湿型砂 …… 343
4.2.4　干型砂 …… 350
4.2.5　表干型砂 …… 353
4.2.6　粘土砂混制工艺要点 …… 355
4.3　水玻璃砂 …… 355
4.3.1　粘结剂——水玻璃 …… 355
4.3.2　水玻璃 CO_2 硬化砂 …… 359
4.3.3　真空置换硬化（VRH）法 …… 362
4.3.4　有机酯水玻璃自硬砂 …… 366
4.4　树脂砂 …… 369
4.4.1　粘结剂——合成树脂粘结剂 …… 369
4.4.2　覆膜砂 …… 372
4.4.3　热芯盒砂 …… 375
4.4.4　冷芯盒砂 …… 378
4.4.5　树脂自硬砂 …… 381
4.5　油砂 …… 388
4.5.1　粘结剂——油类 …… 388
4.5.2　植物油芯砂 …… 389
4.5.3　合脂芯砂 …… 390
4.5.4　改性渣油砂 …… 391
4.6　特种砂型（芯）砂 …… 392
4.6.1　石灰石型（芯）砂 …… 392

4.6.2　锆砂型砂 …… 394
4.6.3　铬铁矿砂型（芯）砂 …… 395
4.6.4　镁砂型砂 …… 395
4.6.5　橄榄石砂型砂 …… 395
4.7　涂料 …… 396
4.7.1　砂型铸造用涂料技术标准 …… 396
4.7.2　铸钢件砂型用涂料 …… 398
4.7.3　铸铁件砂型用涂料 …… 401
4.7.4　非铁合金铸件用涂料 …… 405
4.7.5　涂料的涂敷方法 …… 406
4.7.6　涂料缺陷分析及解决方案 …… 407
4.8　砂芯修补砂、修补膏与胶合剂 …… 409
4.8.1　砂芯修补砂 …… 409
4.8.2　砂芯修补膏 …… 410
4.8.3　砂芯胶合剂 …… 410
4.9　冒口套、冒口覆盖剂材料 …… 411
4.9.1　冒口套用原材料 …… 411
4.9.2　铸钢件用保温冒口套的配方及性能 …… 414
4.9.3　有色金属铸造用保温冒口套的配方及性能 …… 417
4.9.4　发热冒口套的配方 …… 417
4.9.5　明冒口覆盖剂的配方 …… 418
4.10　配砂守则及安全操作要点 …… 419
4.10.1　配砂工艺守则 …… 419
4.10.2　配砂工安全操作要点 …… 419
第5章　砂型（芯）的制造 …… 420
5.1　手工造型制芯 …… 421
5.1.1　常用工具、量具及工装 …… 421
5.1.2　砂箱造型 …… 438
5.1.3　刮板造型 …… 458
5.1.4　地坑造型 …… 469
5.1.5　手工制芯 …… 477
5.2　湿型机器造型制芯 …… 491
5.2.1　机器造型的工艺基础 …… 491
5.2.2　现代机器造型 …… 497
5.2.3　造型生产线 …… 503
5.2.4　机器制芯 …… 505
5.2.5　设备维护保养及安全操作技术 …… 519
5.3　砂型（芯）烘干 …… 520
5.3.1　烘干原理 …… 520
5.3.2　烘干过程 …… 520

5.3.3　烘干规范 …… 521
5.3.4　烘干设备 …… 523
5.3.5　烘干质量检验及评定 …… 524
5.3.6　操作规程 …… 525
5.4　合型 …… 527
5.4.1　合型前的准备 …… 527
5.4.2　砂型摆放及质量检查 …… 527
5.4.3　下芯及内冷铁 …… 528
5.4.4　合型操作 …… 533
5.4.5　砂型的紧固 …… 534
5.4.6　合型操作规程 …… 534
第6章　铸型浇注 …… 539
6.1　铸钢件的浇注 …… 539
6.1.1　盛钢桶的种类和型号 …… 539
6.1.2　盛钢桶的清洁与烘烤 …… 540
6.1.3　钢液的镇静 …… 541
6.1.4　浇注温度 …… 541
6.1.5　浇注速度 …… 542
6.1.6　氩气保护浇注 …… 544
6.1.7　铸钢件浇注操作要点 …… 544
6.1.8　铸钢浇注安全技术 …… 546
6.2　铸铁件的浇注 …… 547
6.2.1　浇包种类和规格 …… 547
6.2.2　修包与烤包 …… 549
6.2.3　浇注温度 …… 551
6.2.4　浇注速度 …… 552
6.2.5　铸铁浇注技术要点 …… 552
6.3　非铁合金的浇注 …… 554
6.3.1　铸造铝合金浇注工艺 …… 554
6.3.2　铸造铜合金浇注温度 …… 554
6.3.3　铸造锌合金浇注温度 …… 556
6.3.4　铸造镁合金的浇注工艺 …… 556
6.3.5　铸造轴承合金的熔铸 …… 559
第7章　铸件的落砂与清理 …… 562
7.1　铸件的落砂 …… 563
7.1.1　铸件在砂型内的冷却时间 …… 563
7.1.2　落砂方法 …… 566
7.2　铸件的清理 …… 569
7.2.1　浇冒口的去除 …… 569
7.2.2　铸件表面清理 …… 573

7.2.3 铸件表面铲磨 …… 578
7.3 铸件缺陷分类 …… 583
7.3.1 多肉类缺陷 …… 583
7.3.2 空洞类缺陷 …… 584
7.3.3 裂纹、冷隔类缺陷 …… 585
7.3.4 表面缺陷 …… 586
7.3.5 残缺类缺陷 …… 587
7.3.6 形状及重量差错类缺陷 …… 587
7.3.7 夹杂类缺陷 …… 588
7.3.8 性能、成分、组织不合格 …… 589
7.4 铸件缺陷的修补 …… 590
7.4.1 焊条电弧焊焊补 …… 590
7.4.2 气焊焊补 …… 605
7.4.3 铸铁件喷覆法焊补 …… 610
7.4.4 环氧树脂粘补法 …… 612
7.4.5 承压铸件的浸渗技术 …… 613
7.5 铸件内应力的消除 …… 615
7.5.1 铸钢件内应力的消除 …… 615
7.5.2 铸铁件内应力的消除 …… 617
7.5.3 非铁合金铸件内应力的消除 …… 618
第 8 章 铸件质量检验及评定 …… 620
8.1 铸件质量的检验 …… 620
8.1.1 铸件质量的现代内涵 …… 620
8.1.2 铸件质量检验方式 …… 620
8.1.3 铸件质量检验结果分类 …… 621
8.2 铸件缺陷检验方法 …… 622
8.2.1 外观质量检验方法 …… 622
8.2.2 铸件表面和近表面缺陷检验方法 …… 623
8.2.3 铸件内部缺陷检验方法 …… 624
8.2.4 理化性能检验 …… 626
8.3 铸件质量评定方法 …… 627
8.3.1 铸件实物质量评定 …… 628
8.3.2 技术管理质量评定 …… 629
8.3.3 售后服务的质量评定 …… 631
8.3.4 铸件质量分等指数 C …… 631
8.4 铸件产品验收 …… 632
第 9 章 熔模铸造 …… 634
9.1 熔模铸件工艺设计 …… 635
9.1.1 浇注系统 …… 635
9.1.2 冒口设计 …… 636

9.1.3　工艺参数 …… 637
9.2　压型 …… 643
9.2.1　常用压型的类型 …… 643
9.2.2　机械加工压型 …… 644
9.2.3　其他材料压型 …… 648
9.3　模料与制模工艺 …… 653
9.3.1　模料配制 …… 653
9.3.2　压制蜡模 …… 659
9.3.3　焊接模组 …… 661
9.3.4　熔模缺陷、原因分析及解决方案 …… 663
9.3.5　石蜡-硬脂酸模料回收处理 …… 665
9.4　型壳制造工艺 …… 667
9.4.1　制壳用材料 …… 667
9.4.2　硅酸乙酯涂料及制壳工艺 …… 672
9.4.3　硅溶胶涂料及制壳工艺 …… 676
9.4.4　水玻璃涂料及制壳工艺 …… 679
9.4.5　硅溶胶-水玻璃复合制壳工艺 …… 684
9.4.6　型壳缺陷、原因分析及解决方案 …… 685
9.5　脱蜡及焙烧 …… 688
9.5.1　脱蜡工艺 …… 688
9.5.2　造型方法 …… 690
9.5.3　型壳焙烧 …… 690
9.5.4　摇壳与洗壳、裂纹检查与修补 …… 693
9.6　型芯 …… 694
9.6.1　陶瓷型芯 …… 695
9.6.2　水溶性型芯 …… 704
9.7　感应电炉熔炼 …… 706
9.7.1　炉料准备及配料计算 …… 706
9.7.2　坩埚制备 …… 708
9.7.3　感应炉熔炼工艺 …… 711
9.8　重力浇注 …… 715
9.8.1　浇注形式 …… 715
9.8.2　浇注时的型壳温度 …… 716
9.8.3　浇注温度 …… 716
9.8.4　浇注速度 …… 717
9.8.5　浇注操作 …… 718
9.9　铸件清理与热处理 …… 718
9.9.1　铸件在型壳中的冷却方式与冷却时间 …… 718
9.9.2　铸件组脱壳方法 …… 719
9.9.3　切割浇冒口的方法 …… 719

9.9.4　铸件表面清理方法 …… 720
9.9.5　熔模铸件的缺陷焊补 …… 725
9.9.6　熔模铸件的防锈处理 …… 728
9.10　熔模铸件的质量检验 …… 729
9.10.1　熔模铸件质量技术标准 …… 729
9.10.2　熔模铸件质量检验 …… 730
9.10.3　熔模铸件缺陷、原因分析及解决方案 …… 730
第 10 章　陶瓷型铸造 …… 734
10.1　陶瓷铸型的成型过程 …… 734
10.1.1　整体陶瓷铸型 …… 734
10.1.2　复合陶瓷铸型 …… 734
10.1.3　陶瓷型铸造的工艺流程 …… 736
10.2　铸件工艺设计 …… 736
10.2.1　浇注位置和分型面的选择 …… 736
10.2.2　工艺参数 …… 736
10.2.3　母模 …… 737
10.2.4　浇注系统 …… 739
10.2.5　冒口 …… 740
10.3　造型材料 …… 740
10.3.1　陶瓷型用原材料 …… 740
10.3.2　陶瓷型浆料的配方 …… 743
10.3.3　浆料制备工艺 …… 744
10.4　造型工艺 …… 745
10.4.1　各工序的操作方法 …… 745
10.4.2　专用起模装置 …… 746
10.5　浇注与清理 …… 747
10.6　陶瓷型铸件缺陷及技术解决方案 …… 747
第 11 章　负压（V 法）造型 …… 750
11.1　工艺过程 …… 750
11.2　工艺设计 …… 751
11.3　基本设备及工装 …… 752
11.4　主要原材料 …… 753
11.4.1　负压造型用塑料薄膜 …… 753
11.4.2　负压造型用型砂 …… 754
11.4.3　负压造型用涂料 …… 754
11.5　水泵铸铁叶轮的负压造型 …… 755
11.5.1　叶轮铸造工艺设计 …… 755
11.5.2　叶轮铸件负压铸造生产的工序操作 …… 756
第 12 章　压力铸造 …… 758
12.1　压铸合金 …… 759

12.1.1　压铸铝合金……759
12.1.2　压铸锌合金……761
12.1.3　压铸镁合金……762
12.1.4　压铸铜合金……764
12.2　压铸件结构与技术要求……765
12.2.1　压铸件结构要素……765
12.2.2　压铸件技术要求……775
12.3　压铸机……781
12.3.1　冷室压铸机……781
12.3.2　热室压铸机……784
12.3.3　压铸机的安全操作规程……786
12.4　压铸模……786
12.4.1　压铸模的结构……786
12.4.2　压铸机的选择……787
12.4.3　分型面……788
12.4.4　浇注技术……788
12.4.5　压铸模成型零件……789
12.4.6　抽芯机构、顶出机构及冷却系统……793
12.4.7　压铸模的基本零件……794
12.4.8　压铸模的技术要求……795
12.5　压铸工艺……798
12.5.1　压射比压……798
12.5.2　速度……798
12.5.3　温度……799
12.5.4　时间……799
12.5.5　余料饼厚度……800
12.5.6　定量浇注……800
12.5.7　压室充满度……800
12.5.8　压铸用涂料……800
12.6　压铸生产……802
12.6.1　压铸模加热……802
12.6.2　金属液的供给……804
12.6.3　浇注……804
12.6.4　取件和喷涂……806
12.6.5　压铸件清理……806
12.6.6　压铸件后处理……808
12.7　压铸件质量检验……809
12.7.1　压铸件质量检查项目……809
12.7.2　压铸件表面质量级别及其表面粗糙度……809
12.7.3　压铸件力学性能测定……809

12.7.4　压铸件缺陷、原因分析及解决方案 …… 811
第 13 章　铸造相关计算 …… 820
13.1　体积与面积 …… 820
13.1.1　常见几何体体积近似计算公式 …… 820
13.1.2　常用几何图形面积计算公式 …… 821
13.2　密度 …… 823
13.2.1　常用铸造合金的密度 …… 823
13.2.2　木模常用材料的密度 …… 823
13.2.3　密度计算案例 …… 823
13.3　重量计算 …… 823
13.3.1　根据铸造工艺图计算铸件重量 …… 823
13.3.2　根据实体模样重量计算铸件重量 …… 825
13.3.3　浇满一个铸型所需的金属液重量 …… 826
13.3.4　大型铸钢件的毛重及钢液总重量 …… 826
13.4　计算铸铁的碳当量及共晶度 …… 827
13.4.1　碳当量和共晶度的计算及判据 …… 827
13.4.2　计算案例 …… 827
13.5　铸铁件浇注系统计算 …… 827
13.5.1　浇注时型腔内液面上升速度的计算 …… 827
13.5.2　计算浇注系统各组元截面积 …… 828
13.5.3　计算球墨铸铁件压边浇口截面积 …… 828
13.5.4　顶注、中注、底注时的平均压力头 H_p 的计算 …… 828
13.5.5　公式法计算灰铸铁件浇注系统各组元截面积 …… 829
13.6　芯头承压面积核算 …… 829
13.7　铸钢凝固收缩的相关计算 …… 830
13.7.1　碳钢的体收缩率 …… 830
13.7.2　合金钢的体收缩率 …… 830
13.7.3　碳钢缩孔体积的计算 …… 831
13.8　铸钢件模数计算 …… 831
13.8.1　凝固模数表达式 …… 831
13.8.2　简单几何体的模数计算 …… 832
13.8.3　组合体模数的计算 …… 833
13.8.4　杆的模数 …… 834
13.9　模数法计算铸钢件冒口 …… 835
13.9.1　由冒口模数和表面积计算冒口体积 …… 835
13.9.2　计算不同形体铸件模数，判断冷却快慢 …… 835
13.9.3　计算同体积、不同表面积铸件的模数，判断冷却快慢 …… 836
13.9.4　模数法计算冒口 …… 836
13.10　比例法计算铸钢件冒口尺寸 …… 838
13.11　铸钢件致密性的判断计算 …… 838

13.12　铸造工艺设计计算 …… 838
13.12.1　球墨铸铁件工艺计算 …… 838
13.12.2　铸钢件工艺计算 …… 840
13.13　关于砂型紧实度的计算 …… 841
13.14　刮板造型轮形件的分肋计算 …… 841
13.14.1　简单作图法 …… 841
13.14.2　公式计算法 …… 842
13.14.3　经验数据法 …… 842
13.14.4　计算案例 …… 843
13.15　抬型力与紧固力的计算 …… 843
13.15.1　金属液静压力产生的抬型力 …… 843
13.15.2　型芯剩余浮力产生的抬型力 …… 843
13.15.3　铸型紧固力 …… 844
13.15.4　计算案例 …… 844
13.16　重型铸钢件起吊力的计算 …… 846
13.16.1　重型铸件的起吊力 …… 846
13.16.2　砂箱箱把的承受力 …… 846
参考文献 …… 848

第 1 章　铸 造 合 金

铸造是零件毛坯最常用的生产工艺之一，是现代大机械工业的基础。铸件是铸造成型工艺与铸造合金材料冶金的结合。生产中，常因铸造合金化学成分不符合铸件技术要求，而导致铸件显微组织异常，物理性能、力学性能或化学性能不合格等缺陷。因此，铸造合金在铸件质量中具有不可忽视的重要性。

铸造合金有铸钢、铸铁、非铁铸造合金。

1.1　铸钢

1.1.1　铸钢分类及牌号表示方法

1. 铸钢分类（见表 1-1）

表 1-1　铸 钢 分 类

分类方法	钢种	
按化学成分分类	铸造碳钢	低碳钢[w(C)≤0.25%]、中碳钢[w(C)=0.25%～0.60%]、高碳钢[w(C)=0.60%～2.00%]
	铸造合金钢	低合金钢[w(合金元素总量)≤5%]、中合金钢[w(合金元素总量)=5%～10%]、高合金钢[w(合金元素总量)≥10%]
按使用特性分类	工程与结构用铸钢	碳素结构钢、合金结构钢
	铸造特殊钢	耐磨钢、耐热钢、不锈钢、镍基铸造合金
	铸造工具钢	刀具钢、模具钢
	低温用铸钢	
	承压铸钢	
	精密铸造用铸钢	
	专业铸造用钢	重型与矿山机器用铸钢、水轮机常用铸钢、汽轮机常用铸钢、机车车辆常用铸钢、铸钢轧辊常用铸钢、无磁及电工用铸钢

2. 铸钢牌号的表示方法（见表 1-2）

表 1-2　铸钢牌号的表示方法（GB/T 5613—1995）

铸钢代号		在各种铸钢牌号的前面，均冠以 ZG 以表示铸钢	
主要验收依据	钢种	牌号的表示方法	举例

（续）

铸钢代号		在各种铸钢牌号的前面,均冠以ZG以表示铸钢	
力学性能	工程与结构用铸造碳钢和高强度铸钢	在ZG后面接两组数字,第1组数字表示该牌号铸钢的屈服强度,第2组数字表示其抗拉强度,两组数字之间用“-”隔开	ZG 200-400 400—抗拉强度(MPa) 200—屈服强度(MPa) ZG—铸钢代号
化学成分	铸造碳钢	在ZG后面接一组数字,表示碳的名义质量分数为万分之几	ZG 15 Cr 1 Mo 1 V V—钒的符号[$w(V)<0.9\%$] 1—钼的名义质量分数 Mo—钼的符号 1—铬的名义质量分数 Cr—铬的符号 15—碳以万分表示的名义质量分数 ZG—铸钢代号
	铸造中、低合金钢和高合金钢	在ZG后面接一组数字,表示铸钢碳的名义质量分数为万分之几;其后排列各主要合金元素符号,元素符号后面用整数标出其名义百分质量分数	
		锰的平均质量分数<0.9%时,牌号中不注元素符号,在0.9%~1.4%时只注符号、不注含量 其他合金元素平均质量分数为0.9%~1.4%时,在该元素符号后面标注数字1	
		钼的平均质量分数<0.15%、其他元素平均质量分数<0.15%时,牌号中不标注元素符号 钼和其他元素的平均质量分数>0.15%且<0.9%时,在牌号中只标元素符号,不标含量	
		钛、钒平均质量分数<0.9%,铌、硼、氮、稀土等微量合金元素平均质量分数<0.5%时,只标注元素符号 当主要合金元素多于3个,可只标注前2种或前3种元素的名义含量	

1.1.2 铸造碳钢

1. 一般工程用铸造碳钢

（1）牌号及化学成分（见表 1-3）

表 1-3 一般工程用铸造碳钢的牌号及化学成分（GB/T 11352—2009）

牌号	化学成分(质量分数,%)≤										
	C	Si	Mn	S	P	残余元素					
						Ni	Cr	Cu	Mo	V	残余元素总量
ZG200-400	0.20	0.60	0.80	0.035	0.035	0.40	0.35	0.40	0.20	0.05	1.00
ZG230-450	0.30		0.90								
ZG270-500	0.40										
ZG310-570	0.50										
ZG340-640	0.60										

注：1. 对质量分数上限减少 0.01% 的碳，允许增加质量分数可至 0.04% 的锰。对于 ZG200-400，锰的最高质量分数可至 1.00%，其余四个牌号锰的质量分数可至 1.20%。

2. 除另有规定外，残余元素不作为验收依据。

（2）力学性能（见表 1-4）

表 1-4 一般工程用铸造碳钢的力学性能（GB/T 11352—2009）

牌 号	上屈服强度 R_{eH}（或 $R_{p0.2}$）/MPa ≥	抗拉强度 R_m /MPa ≥	断后伸长率 A（%）≥	根据合同选择		
				断面收缩率 Z(%)≥	冲击吸收功 A_{KV}/J≥	冲击吸收功 A_{KU}/J≥
ZG200-400	200	400	25	40	30	47
ZG230-450	230	450	22	32	25	35
ZG270-500	270	500	18	25	22	27
ZG310-570	310	570	15	21	15	24
ZG340-640	340	640	10	18	10	16

注：1. 表中所列的各牌号性能，适应于厚度为 100mm 以下的铸件。当铸件厚度超过 100mm 时，表中规定的 R_{eH}（或 $R_{p0.2}$）仅供设计使用。

2. 表中冲击吸收功 A_{KU} 的试样缺口为 2mm。

（3）特性及应用范围（见表 1-5）

表 1-5 一般工程用铸造碳钢的特性及应用范围

牌 号	特 性	应 用 范 围
ZG200-400	有良好的塑性、韧性和焊接性	用于受力不大，要求韧性的各种机械零件，如机座、变速器壳等
ZG230-450	有一定的强度和较好的塑性、韧性，焊接性能良好，切削性能尚可	用于受力不大，要求韧性的各种机械零件，如砧座、外壳、轴承盖、底板、阀体、犁柱等

（续）

牌　号	特　　性	应 用 范 围
ZG270-500	有较高的强度和较好的塑性，铸造性能良好，焊接性能尚好，切削性能佳，用途广泛	用于轧钢机机架、轴承座、连杆、箱体、曲拐、缸体等
ZG310-570	有高的强度、硬度和耐磨性，可切削性中等，焊接性能较差，流动性好，裂纹敏感性较大	用作齿轮、棘轮等
ZG340-640	有高的强度、硬度和耐磨性，切削性能中等，焊接性能较差，流动性较好，裂纹敏感性较大	用作齿轮、棘轮等

2. 焊接结构用铸造碳钢

为确保结构件的可靠性和施焊方便，这类钢与一般工程用铸钢稍有不同，主要是C、Si含量较低，对残余元素的含量限制也较严，购买方认为必要时，可以限制钢的碳当量。

（1）牌号及化学成分（见表1-6）

表1-6　焊接结构用铸钢的牌号及化学成分（GB/T 7659—2010）

牌　号	主要元素（质量分数，%）					残余元素（质量分数，%）					
	C	Si	Mn	P≤	S≤	Ni	Cr	Cu	Mo	V	总和
ZG200-400H	≤0.20	≤0.60	≤0.80	0.025	0.025	≤0.4	≤0.35	≤0.4	≤0.15	≤0.05	≤1.0
ZG230-450H	≤0.20	≤0.60	≤1.2	0.025	0.025						
ZG270-480H	0.17～0.25	≤0.60	0.8～1.2	0.025	0.025						
ZG300-500H	0.17～0.25	≤0.60	1.0～1.6	0.025	0.025						
ZG340-550H	0.17～0.25	≤0.80	1.0～1.6	0.025	0.025						

注：1. 牌号末尾的“H”为“焊”字汉语拼音的第一个大写字母，表示焊接用钢。
2. 各牌号碳的质量分数每降低0.01%，允许锰的质量分数上限增加0.04%，但锰的质量分数增加量不得超过0.2%。
3. 残余元素一般不作分析，如需方有要求时，可作残余元素的分析。

（2）碳当量的规定　当需方有碳当量要求时，各牌号铸钢的碳当量应符合表1-7的规定。

表 1-7　碳当量的规定（适用于订货时商定用）

牌　　号	ZG200-400H	ZG230-450H	ZG270-480H	ZG300-500H	ZG340-550H
碳当量 CE（质量分数，%）≤	0.38	0.42	0.46	0.46	0.48

碳当量（CE）根据铸钢化学成分（质量分数）按下式计算：

$$CE = w(C) + w(Mn)/6 + w(Cr + Mo + V)/5 + w(Ni + Cu)/15$$

（3）力学性能（见表 1-8）

表 1-8　焊接结构用铸造碳钢的力学性能（GB/T 7659—2010）

牌　号	拉 伸 性 能			根据合同选择	
	上屈服强度 R_{eH} /MPa ≥	抗拉强度 R_m /MPa ≥	断后伸长率 A (%) ≥	断面收缩率 Z (%) ≥	冲击吸收能量 KV_2/J ≥
ZG200-400H	200	400	25	40	45
ZG230-450H	230	450	22	35	45
ZG270-480H	270	480	20	35	40
ZG300-500H	300	500	20	21	40
ZG340-550H	340	550	15	21	35

注：表中为各牌号焊接结构用铸钢单铸试块室温力学性能。当无明显屈服时，测定规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$。

3. 铸造碳钢的铸造性能

与铸铁相比，铸造碳钢的铸造性能较差：流动性较低，容易形成冷隔；氧化和吸气性较大，容易形成夹渣和气孔；体收缩和线收缩偏大，容易形成缩孔、疏松、热裂和冷裂；熔点较高，容易形成粘砂。

元素对铸造性能的影响见表 1-9、表 1-10。

表 1-9　元素对铸钢铸造性能的影响

序号	元　素	影　　响
1	碳（C）	有利于改善流动性
2	硅（Si）	1）降低熔点，改善流动性，中碳钢 Si 的质量分数由 0.25% 增至 0.45% 时，由于良好的脱氧作用，流动性有明显的改善 2）w(Si) < 0.4% 时，可改善热裂倾向；含量高时，易形成柱状晶，增加热裂倾向
3	锰（Mn）	1）缩小结晶范围，提高流动性 2）增加体收缩和线收缩，增加冷、热裂倾向 3）生成氧化锰，氧化锰与二氧化硅作用易形成化学粘砂
4	硫（S）	生成 MnS、Al_2S_3，降低流动性，并增加热裂倾向
5	磷（P）	改善流动性，但增加冷、热裂倾向
6	镍（Ni）	1）改善流动性 2）易生成枝晶，增大热裂倾向

（续）

序号	元　素	影　　响
7	铬(Cr)	1）生成夹杂物及氧化膜,使钢液变稠,降低流动性,高铬钢铸件易形成皱纹和冷隔 2）增加体收缩量,增大缩孔倾向 3）减小导热性,增大热裂倾向
8	铜(Cu)	1）降低熔点,缩小结晶范围,改善流动性 2）w(Cu)>1%时,易于自由析出,增加热裂倾向,加 Si、Mn 可提高 Cu 在钢中的溶解度
9	钼(Mo)	1）低合金范围内,降低流动性 2）略增加缩孔倾向 3）w(Mo)<1%时,生成 MnS 在晶界上析出,降低导热性,并增大收缩,增大冷、热裂倾向 4）w(Mo)高时,提高高温强度,改善热裂倾向
10	钒(V)	1）w(V)=0.25%~1.0%时,生成氧化膜,略降低流动性 2）提高高温强度,略改善裂纹倾向
11	铝(Al)	1）作脱氧剂加入时,w(Al)<0.15%,有良好的脱氧作用,改善流动性 2）作合金元素加入时,形成 Al_2O_3 和 Al_2S_3 夹杂和氧化膜降低流动性 3）增大收缩和热裂倾向
12	钛(Ti)	显著降低流动性
13	稀土元素(RE)	脱氧、脱硫、改善流动性、减少热裂倾向

表 1-10　铸造性能及其影响元素

序　号	铸 造 性 能	影 响 元 素
1	提高流动性	Si、P、Cu、Ni、Mn
2	降低流动性	Ti、Cr、Al、S、V、Mo、W
3	增加缩孔倾向	C、Cr、Mn、V、Mo、Ni
4	减少热裂倾向	V、Mn①、Al①、Si①
5	增加热裂倾向	S、Si、P、Cu②、Mn、Cr、Mo、Ni

① 在铸造碳钢中有此特性。

② w（Cu）≥1.0%时。

1.1.3　铸造低合金钢

低合金铸钢在强度、韧性和淬透性、耐大气腐蚀和耐磨损性等方面均优于碳钢，具有比碳钢更为良好的综合力学性能。

1. 一般工程与结构用低合金铸钢

（1）牌号及磷、硫含量（见表1-11）

表1-11　一般工程与结构用低合金铸钢的牌号及磷、硫含量（GB/T 14408—1993）

牌　号	P（质量分数,%）	S（质量分数,%）
	≤	
ZGD270-480	0.040	0.040
ZGD290-510		
ZGD345-570		
ZGD410-620		
ZGD535-720		
ZGD650-830		
ZGD730-910	0.035	0.035
ZGD840-1030		

（2）力学性能（见表1-12）

表1-12　一般工程与结构用低合金铸钢的力学性能（GB/T 14408—1993）

牌　号	下屈服强度 R_{eL}（或 $R_{p0.2}$）/MPa ≥	抗拉强度 R_m /MPa ≥	断后伸长率 A（%）≥	断面收缩率 Z（%）≥
ZGD270-480	270	480	18	35
ZGD290-510	290	510	16	35
ZGD345-570	345	570	14	35
ZGD410-620	410	620	13	35
ZGD535-720	535	720	12	30
ZGD650-830	650	830	10	25
ZGD730-910	730	910	8	22
ZGD840-1030	840	1030	6	20

注：表中力学性能值取自28mm厚标准试块。

2. 大型低合金铸钢

（1）牌号及化学成分（见表1-13）。

表 1-13　大型低合金铸钢的牌号及化学成分（JB/T 6402—2006）

牌　号	化学成分(质量分数,%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
ZG20Mn	0.16～0.22	0.60～0.80	1.00～1.30	≤0.030	≤0.030	—	≤0.40	—	—
ZG30Mn	0.27～0.34	0.30～0.50	1.20～1.50	≤0.030	≤0.030	—	—	—	—
ZG35Mn	0.30～0.40	0.60～0.80	1.10～1.40	≤0.030	≤0.030	—	—	—	—
ZG40Mn	0.35～0.45	0.30～0.45	1.20～1.50	≤0.030	≤0.030	—	—	—	—
ZG40Mn2	0.35～0.45	0.20～0.40	1.60～1.80	≤0.030	≤0.030	—	—	—	—
ZG45Mn2	0.42～0.49	0.20～0.40	1.60～1.80	≤0.030	≤0.030	—	—	—	—
ZG50Mn2	0.45～0.55	0.20～0.40	1.50～1.80	≤0.030	≤0.030	—	—	—	—
ZG35SiMnMo	0.32～0.40	1.10～1.40	1.10～1.40	≤0.030	≤0.030	—	—	0.20～0.30	≤0.30
ZG35CrMnSi	0.30～0.40	0.50～0.75	0.90～1.20	≤0.030	≤0.030	0.50～0.80	—	—	—
ZG20MnMo	0.17～0.23	0.20～0.40	1.10～1.40	≤0.030	≤0.030	—	—	0.20～0.35	≤0.30
ZG30Cr1MnMo	0.25～0.35	0.17～0.45	0.90～1.20	≤0.030	≤0.030	0.90～1.20	—	0.20～0.30	—
ZG55CrMnMo	0.50～0.60	0.25～0.60	1.20～1.60	≤0.030	≤0.030	0.60～0.90	—	0.20～0.30	≤0.30

（续）

牌　　号	化学成分（质量分数,%）								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
ZG40Cr1	0.35 ~ 0.45	0.20 ~ 0.40	0.50 ~ 0.80	≤0.030	≤0.030	0.80 ~ 1.10	—	—	—
ZG34Cr2Ni2Mo	0.30 ~ 0.37	0.30 ~ 0.60	0.60 ~ 1.00	≤0.030	≤0.030	1.40 ~ 1.70	1.40 ~ 1.70	0.15 ~ 0.35	—
ZG15Cr1Mo	0.12 ~ 0.20	≤0.60	0.50 ~ 0.80	≤0.030	≤0.030	1.00 ~ 1.50	—	0.45 ~ 0.65	—
ZG20CrMo	0.17 ~ 0.25	0.20 ~ 0.45	0.50 ~ 0.80	≤0.030	≤0.030	0.50 ~ 0.80	—	0.45 ~ 0.65	—
ZG35Cr1Mo	0.30 ~ 0.37	0.30 ~ 0.50	0.50 ~ 0.80	≤0.030	≤0.030	0.80 ~ 1.20	—	0.20 ~ 0.30	—
ZG42Cr1Mo	0.38 ~ 0.45	0.30 ~ 0.60	0.60 ~ 1.00	≤0.030	≤0.030	0.80 ~ 1.20	—	0.20 ~ 0.30	—
ZG50Cr1Mo	0.46 ~ 0.54	0.25 ~ 0.50	0.50 ~ 0.80	≤0.030	≤0.030	0.90 ~ 1.20	—	0.15 ~ 0.25	—
ZG65Mn	0.60 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	≤0.030	≤0.030	—	—	—	—
ZG28NiCrMo	0.25 ~ 0.30	0.30 ~ 0.80	0.60 ~ 0.90	≤0.030	≤0.030	0.35 ~ 0.85	0.40 ~ 0.80	0.35 ~ 0.55	—
ZG30NiCrMo	0.25 ~ 0.35	0.30 ~ 0.60	0.70 ~ 1.00	≤0.030	≤0.030	0.60 ~ 0.90	0.60 ~ 1.00	0.35 ~ 0.50	—
ZG35NiCrMo	0.30 ~ 0.37	0.60 ~ 0.90	0.70 ~ 1.00	≤0.030	≤0.030	0.40 ~ 0.90	0.60 ~ 0.90	0.40 ~ 0.50	—

（2）力学性能（见表 1-14）

表 1-14　大型低合金铸钢的力学性能（JB/T 6402—2006）

牌　号	热处理状态	上屈服强度 R_{eH}/MPa ≥	抗拉强度 R_m/MPa ≥	断后伸长率 A(%) ≥	断面收缩率 Z(%) ≥	冲击吸收功 A_{KU}/J ≥	冲击吸收功 A_{KV}/J ≥	冲击吸收功 A_{KDVM}/J ≥	硬度 HBW ≥	备　注
ZG20Mn	正火 + 回火	285	495	18	30	39	—	—	145	焊接及流动性良好，用于水压机缸、叶片、喷嘴体、阀、弯头等
	调质	300	500 ~ 650	24	—	—	45	—	150 ~ 190	
ZG30Mn	正火 + 回火	300	558	18	30	—	—	—	163	
ZG35Mn	正火 + 回火	345	570	12	20	24	—	—	—	用于承受摩擦的零件
	调质	415	640	12	25	27	—	27	200 ~ 240	
ZG40Mn	正火 + 回火	295	640	12	30	—	—	—	163	用于承受摩擦和冲击的零件，如齿轮等
ZG40Mn2	正火 + 回火	395	590	20	40	30	—	—	179	用于承受摩擦的零件，如齿轮等
	调质	685	835	13	45	35	—	35	269 ~ 302	
ZG45Mn2	正火 + 回火	392	637	15	30	—	—	—	179	用于模块、齿轮等
ZG50Mn2	正火 + 回火	445	785	18	37	—	—	—	—	用于高强度零件，如齿轮、齿轮缘等
ZG35SiMnMo	正火 + 回火	395	640	12	20	24	—	—	—	用于承受负荷较大的零件
	调质	490	690	12	25	27	—	27	—	
ZG35CrMnSi	正火 + 回火	345	690	14	30	—	—	—	217	用于承受冲击、摩擦的零件，如齿轮、滚轮等
ZG20MnMo	正火 + 回火	295	490	16		39	—	—	156	用于受压容器，如泵壳等

（续）

牌　号	热处理状态	上屈服强度 R_{eH}/MPa ≥	抗拉强度 R_m /MPa ≥	断后伸长率 A(%) ≥	断面收缩率 Z(%) ≥	冲击吸收功 A_{KU}/J ≥	A_{KV}/J ≥	A_{KDVM}/J ≥	硬度 HBW ≥	备　注
ZG30Cr1MnMo	正火 + 回火	392	686	15	30	—	—	—	—	用于拉坯和立柱
ZG55CrMnMo	正火 + 回火	不规定	不规定	—	—	—	—	—	—	有一定的热硬性，用于锻模等
ZG40Cr1	正火 + 回火	345	630	18	26	—	—	—	212	用于高强度齿轮
ZG34Cr2Ni2Mo	调质	700	950 ~ 1000	12	—	—	32	—	240 ~ 290	用于特别要求的零件，如锥齿轮、小齿轮、桥式起重机行走轮、轴等
ZG15Cr1Mo	正火 + 回火	275	490	20	35	24	—	—	140 ~ 220	用于汽轮机
ZG20CrMo	正火 + 回火	245	460	18	30	30	—	—	135 ~ 180	用于齿轮、锥齿轮及高压缸零件等
	调质	245	460	18	30	24	—	—	—	
ZG35Cr1Mo	正火 + 回火	392	588	12	20	23.5	—	—	—	用于齿轮、电炉支承轮轴套、齿圈等
	调质	510	686	12	25	31	—	27	201	
ZG42Cr1Mo	正火 + 回火	343	569	12	20	—	30	—	—	用于承受高负荷零件、齿轮、锥齿轮等
	调质	490	690 ~ 830	11	—	—	—	21	200 ~ 250	
ZG50Cr1Mo	调质	520	740 ~ 880	11	—	—	—	34	200 ~ 260	用于减速器零件、齿轮、小齿轮等
ZG65Mn	正火 + 回火	不规定	不规定	—	—	—	—	—	—	用于球磨机衬板等
ZG28NiCrMo	—	420	630	20	40	—	—	—	—	适用于直径大于 300mm 的齿轮铸件
ZG30NiCrMo	—	590	730	17	35	—	—	—	—	适用于直径大于 300mm 的齿轮铸件
ZG35NiCrMo	—	660	830	14	30	—	—	—	—	适用于直径大于 300mm 的齿轮铸件

注：1. 需方无特殊要求时，A_{KU}、A_{KV}、A_{KDVM} 由供方任选一种。

2. 需方无特殊要求时，硬度不作验收依据，仅供设计参考。

1.1.4　铸造耐磨钢

铸造耐磨钢主要用于采矿、冶金、电力、建筑、交通和国防等重要工业领域，如挖掘机械、破碎机械、筑路机械、运输机械等。

1. 耐磨奥氏体锰钢

（1）牌号及化学成分（见表 1-15）

表 1-15　奥氏体锰钢铸件的牌号及其化学成分（GB/T 5680—2010）

牌　号	化学成分(质量分数,%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	W
ZG120Mn7Mo1	1.05～1.35	0.3～0.9	6～8	≤0.060	≤0.040	—	0.9～1.2	—	—
ZG110Mn13Mo1	0.75～1.35	0.3～0.9	11～14	≤0.060	≤0.040	—	0.9～1.2	—	—
ZG100Mn13	0.90～1.05	0.3～0.9	11～14	≤0.060	≤0.040	—	—	—	—
ZG120Mn13	1.05～1.35	0.3～0.9	11～14	≤0.060	≤0.040	—	—	—	—
ZG120Mn13Cr2	1.05～1.35	0.3～0.9	11～14	≤0.060	≤0.040	1.5～2.5	—	—	—
ZG120Mn13W1	1.05～1.35	0.3～0.9	11～14	≤0.060	≤0.040	—	—	—	0.9～1.2
ZG120Mn13Ni3	1.05～1.35	0.3～0.9	11～14	≤0.060	≤0.040	—	—	3～4	—
ZG90Mn14Mo1	0.70～1.00	0.3～0.9	13～15	≤0.070	≤0.040	—	1.0～1.8	—	—
ZG120Mn17	1.05～1.35	0.3～0.9	16～19	≤0.060	≤0.040	—	—	—	—
ZG120Mn17Cr2	1.05～1.35	0.3～0.9	16～19	≤0.060	≤0.040	1.5～2.5	—	—	—

注：允许加入微量 V、Ti、Nb、B 和 RE 等元素。

（2）力学性能　经水韧处理后奥氏体锰钢的力学性能见表 1-16。

表 1-16　奥氏体锰钢的力学性能（GB/T 5680—2010）

牌　号	力 学 性 能			
	下屈服强度 R_{eL}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率 A(%)	冲击吸收能量 KV_2/J
ZG120Mn13	—	≥685	≥25	≥118
ZG120Mn13Cr2	≥390	≥735	≥20	—

2. 合金耐磨钢

（1）牌号及化学成分（见表 1-17）。

表 1-17　耐磨钢铸件的牌号及化学成分（GB/T 26651—2011）

牌　　号	化学成分(质量分数,%)							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
ZG30Mn2Si	0.24～0.35	0.5～1.2	1.2～2.2	—	—	—	≤0.04	≤0.04
ZG30Mn2SiCr	0.24～0.35	0.5～1.2	1.2～2.2	0.5～1.2	—	—	≤0.04	≤0.04
ZG30CrMnSiMo	0.25～0.35	0.5～1.8	0.6～1.6	0.5～1.8	0.2～0.8	—	≤0.04	≤0.04
ZG30CrNiMo	0.25～0.35	0.4～0.8	0.4～1.0	0.5～2.0	0.2～0.8	0.3～2	≤0.04	≤0.04
ZG40CrNiMo	0.35～0.45	0.4～0.8	0.4～1.0	0.5～2.0	0.2～0.8	0.3～2	≤0.04	≤0.04
ZG42Cr2Si2MnMo	0.38～0.48	1.5～1.8	0.8～1.2	1.8～2.2	0.2～0.6	—	≤0.04	≤0.04

（续）

牌号	化学成分(质量分数,%)							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
ZG45Cr2Mo	0.40～0.48	0.8～1.2	0.4～1.0	1.7～2.0	0.8～1.2	≤0.5	≤0.04	≤0.04
ZG30Cr5Mo	0.25～0.35	0.4～1.0	0.5～1.2	4.0～6.0	0.2～0.8	≤0.5	≤0.04	≤0.04
ZG40Cr5Mo	0.35～0.45	0.4～1.0	0.5～1.2	4.0～6.0	0.2～0.8	≤0.5	≤0.04	≤0.04
ZG50Cr52Mo	0.45～0.55	0.4～1.0	0.5～1.2	4.0～6.0	0.2～0.8	≤0.5	≤0.04	≤0.04
ZG60Cr5Mo	0.55～0.65	0.4～1.0	0.5～1.2	4.0～6.0	0.2～0.8	≤0.5	≤0.04	≤0.04

注：允许加入微量V、Ti、Nb、B和RE等元素。

（2）力学性能（见表1-18）。

表1-18 耐磨铸钢及其铸件的力学性能（GB/T 26651—2011）

牌号	表面硬度HRC	冲击吸收能量 KV_2/J	冲击吸收能量 KN_2/J
ZG30Mn2Si	≥45	≥12	—
ZG30Mn2SiCr	≥45	≥12	—
ZG30CrMnSiMo	≥45	≥12	—
ZG30CrNiMo	≥45	≥12	—
ZG40CrNiMo	≥50	—	≥25
ZG42Cr2Si2MnMo	≥50	—	≥25
ZG45Cr2Mo	≥50	—	≥25
ZG30Cr5Mo	≥42	≥12	—
ZG40Cr5Mo	≥44	—	≥25
ZG50Cr52Mo	≥46	—	≥15
ZG60Cr5Mo	≥48	—	≥10

注：KV_2、KN_2 分别代表V型缺口和无缺口试样的冲击吸收能量。

1.1.5 铸造耐热钢和合金

耐热钢和合金铸件广泛用于工作温度高于650℃的场合。选用耐热钢和合金在许多情况下不仅要考虑其强度，还要考虑其耐蚀性。耐热钢和合金的高温力学性能，决定于其组织中稳定的碳化物沉淀相，因此，耐热钢和合金中碳的质量分数都较高，一般 w(C)>0.20%。耐热钢可分三类，即高铬钢、高铬镍钢和高镍铬钢。

1. 一般用途耐热钢和合金铸件的牌号及化学成分（见表1-19）

表1-19 一般用途耐热钢和合金铸件的牌号及化学成分（GB/T 8492—2002）

牌号	化学成分(质量分数,%)								
	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr	Mo	Ni	其他
ZG30Cr7Si2	0.20～0.35	1.0～2.5	0.5～1.0	0.04	0.04	6～8	0.5	0.5	
ZG40Cr13Si2	0.3～0.5	1.0～2.5	0.5～1.0	0.04	0.03	12～14	0.5	1	

（续）

牌　　号	化学成分(质量分数,%)								
	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr	Mo	Ni	其他
ZG40Cr17Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	0.5 ~ 1.0	0.04	0.03	16 ~ 19	0.5	1	
ZG40Cr24Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	0.5 ~ 1.0	0.04	0.03	23 ~ 26	0.5	1	
ZG40Cr28Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	0.5 ~ 1.0	0.04	0.03	27 ~ 30	0.5	1	
ZGCr29Si2	1.2 ~ 1.4	1.0 ~ 2.5	0.5 ~ 1.0	0.04	0.03	27 ~ 30	0.5	1	
ZG25Cr18Ni9Si2	0.15 ~ 0.35	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	17 ~ 19	0.5	8 ~ 10	
ZG25Cr20Ni14Si2	0.15 ~ 0.35	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	19 ~ 21	0.5	13 ~ 15	
ZG40Cr22Ni10Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	21 ~ 23	0.5	9 ~ 11	
ZG40Cr24Ni24Si2Nb	0.25 ~ 0.50	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	23 ~ 25	0.5	23 ~ 25	Nb:1.2 ~ 1.8
ZG40Cr25Ni12Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	24 ~ 27	0.5	11 ~ 14	
ZG40Cr25Ni20Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	24 ~ 27	0.5	19 ~ 22	
ZG40Cr27Ni4Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	1.5	0.04	0.03	25 ~ 28	0.5	3 ~ 6	
ZG45Cr20Co20Ni20Mo3W3	0.35 ~ 0.60	1.0	2	0.04	0.03	19 ~ 22	2.5 ~ 3.0	18 ~ 22	Co:18 ~ 22 W:2 ~ 3
ZG10Ni31Cr20Nb1	0.05 ~ 0.12	1.2	1.2	0.04	0.03	19 ~ 23	0.5	30 ~ 34	Nb:0.8 ~ 1.5
ZG40Ni35Cr17Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	16 ~ 18	0.5	34 ~ 36	
ZG40Ni35Cr26Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	24 ~ 27	0.5	33 ~ 36	
ZG40Ni35Cr26Si2Nb1	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	24 ~ 27	0.5	33 ~ 36	Nb:0.8 ~ 1.8
ZG40Ni38Cr19Si2	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	18 ~ 21	0.5	36 ~ 39	
ZG40Ni38Cr19Si2Nb1	0.3 ~ 0.5	1.0 ~ 2.5	2	0.04	0.03	18 ~ 21	0.5	36 ~ 39	Nb:1.2 ~ 1.8
ZNiCr28Fe17W5Si2C0.4	0.35 ~ 0.55	1.0 ~ 2.5	1.5	0.04	0.03	27 ~ 30		47 ~ 50	W:4 ~ 6
ZNiCr50Nb1C0.1	0.1	0.5	0.5	0.02	0.02	47 ~ 52	0.5	余量	N:0.16 N + C:0.2 Nb:1.4 ~ 1.7
ZNiCr19Fe18Si1C0.5	0.4 ~ 0.6	0.5 ~ 2.0	1.5	0.04	0.03	16 ~ 21	0.5	50 ~ 55	

（续）

牌　　号	化学成分（质量分数,%）								
	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr	Mo	Ni	其他
ZNiFe18Cr15Si1C0.5	0.35～0.65	2	1.3	0.04	0.03	13～19		64～69	
ZNiCr25Fe20Co15W5Si1C0.46	0.44～0.48	1 2	2	0.04	0.03	24～26		33～37	W:4～6 Co:14～16
ZCoCr28Fe18C0.3	0.5	1	1	0.04	0.03	25～30	0.5	1	Co:48～52 Fe≤20

注：表中的单个值表示最大值。

2. 一般用途耐热钢和合金铸件的力学性能及使用最高温度（见表 1-20）

表 1-20　一般用途耐热钢和合金铸件的力学性能及使用最高温度（GB/T 8492—2002）

牌　　号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥	抗拉强度 R_m/MPa ≥	断后伸长率 A(%) ≥	硬度 HBW	最高使用温度①/℃
ZG30Cr7Si2					750
ZG40Cr13Si2				300②	850
ZG40Cr17Si2				300②	900
ZG40Cr24Si2				300②	1050
ZG40Cr28Si2				320②	1100
ZGCr29Si2				400②	1100
ZG25Cr18Ni9Si2	230	450	15		900
ZG25Cr20Ni14Si2	230	450	10		900
ZG40Cr22Ni10Si2	230	450	8		950
ZG40Cr24Ni24Si2Nb1	220	400	4		1050
ZG40Cr25Ni12Si2	220	450	6		1050
ZG40Cr25Ni20Si2	220	450	6		1100
ZG45Cr27Ni4Si2	250	400	3	400③	1100
ZG40Cr20Co20Ni20Mo3W3	320	400	6		1150
ZG10Ni31Cr20Nb1	170	440	20		1000
ZG40Ni35Cr17Si2	220	420	6		980
ZG40Ni35Cr26Si2	220	440	6		1050
ZG40Ni35Cr26Si2Nb1	220	440	4		1050
ZG40Ni38Cr19Si2	220	420	6		1050
ZG40Ni38Cr19Si2Nb1	220	420	4		1100
ZNiCr28Fe17W5Si2C0.4	220	400	3		1200
ZNiCr50Nb1C0.1	230	540	8		1050
ZNiCr19Fe18Si1C0.5	220	440	5		1100
ZNiFe18Cr15Si1C0.5	200	400	3		1100
ZNiCr25Fe20Co15W5Si1C0.46	270	480	5		1200
ZCoCr28Fe18C0.3	④	④	④	④	1200

① 最高使用温度取决于实际使用条件，所列数据仅供用户参考。这些数据适用于氧化气氛，实际的合金成分对其也有影响。

② 退火态最大硬度值。铸件也可以铸态提供，此时硬度限制就不适用。

③ 最大硬度值。

④ 由供需双方协商确定。

1.1.6 铸造不锈钢

1. 一般用途耐蚀钢铸件

（1）牌号及化学成分（见表 1-21）

表 1-21 一般用途耐蚀钢铸件的牌号及化学成分（GB/T 2100—2002）

牌号	化学成分（质量分数,%）								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他
ZG15Cr12	0.15	0.8	0.8	0.035	0.025	11.5～13.5	0.5	1.0	
ZG20Cr13	0.16～0.24	1.0	0.6	0.035	0.025	12.0～14.0	—	—	
ZG10Cr12NiMo	0.10	0.8	0.8	0.035	0.025	11.5～13.0	0.2～0.5	0.8～1.8	
ZG06Cr12Ni4(QT1) ZG06Cr12Ni4(QT2)	0.06	1.0	1.5	0.035	0.025	11.5～13.0	1.0	3.5～5.0	
ZG06Cr16Ni5Mo	0.06	0.8	0.8	0.035	0.025	15.0～17.0	0.7～1.5	4.0～6.0	
ZG03Cr18Ni10	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～19.0	—	9.0～12.0	
ZG03Cr18Ni10N	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～19.0	—	9.0～12.0	N:0.10～0.20
ZG07Cr19Ni9	0.07	1.5	1.5	0.040	0.030	18.0～21.0	—	8.0～11.0	
ZG08Cr19Ni10Nb	0.08	1.5	1.5	0.040	0.030	18.0～21.0	—	9.0～12.0	Nb:8C～1.00
ZG03Cr19Ni11Mo2	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～20.0	2.0～2.5	9.0～12.0	
ZG03Cr19Ni11Mo2N	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～20.0	2.0～2.5	9.0～12.0	N:0.10～0.20
ZG07Cr19Ni11Mo2	0.07	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～20.0	2.0～2.5	9.0～12.0	
ZG08Cr19Ni11Mo2Nb	0.08	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～20.0	2.0～2.5	9.0～12.0	Nb:8C～1.00
ZG03Cr19Ni11Mo3	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0～20.0	3.0～3.5	9.0～12.0	

（续）

牌号	化学成分(质量分数,%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	其他
ZG03Cr19Ni11Mo3N	0.03	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0 ~ 20.0	3.0 ~ 3.5	9.0 ~ 12.0	N:0.10 ~0.20
ZG07Cr19Ni11Mo3	0.07	1.5	1.5	0.040	0.030	17.0 ~ 20.0	3.0 ~ 3.5	9.0 ~ 12.0	
ZG03Cr26Ni5Cu3Mo3N	0.03	1.0	1.5	0.035	0.025	25.0 ~ 27.0	2.5 ~ 3.5	4.5 ~ 6.5	Cu:2.4 ~3.5 N:0.12 ~0.25
ZG03Cr26Ni5Mo3N	0.03	1.0	1.5	0.035	0.025	25.0 ~ 27.0	2.5 ~ 3.5	4.5 ~ 6.5	N:0.12 ~0.25
ZG03Cr14Ni14Si4	0.03	3.5 ~ 4.5	0.8	0.035	0.025	13 ~ 15	—	13 ~ 15	

注：表中的单个值表示最大值。

（2）力学性能（见表 1-22）

表 1-22 一般用途耐蚀钢铸件的力学性能（GB/T 2100—2002）

牌号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥	抗拉强度 R_m /MPa ≥	断后伸长率 A(%) ≥	冲击吸收功 A_{KV}/J ≥	最大厚度 /mm
ZG15Cr12	450	620	14	20	150
ZG20Cr13	440(R_{eL})	610	16	58(A_{KU})	300
ZG10Cr12NiMo	440	590	15	27	300
ZG06Cr12Ni4(QT1)	550	750	15	45	300
ZG06Cr12Ni4(QT2)	830	900	12	35	300
ZG06Cr16Ni5Mo	540	760	15	60	300
ZG03Cr18Ni10	180①	440	30	80	150
ZG03Cr18Ni10N	230①	510	30	80	150
ZG07Cr19Ni9	180①	440	30	60	150
ZG08Cr19Ni10Nb	180①	440	25	40	150
ZG03Cr19Ni11Mo2	180①	440	30	80	150
ZG03Cr19Ni11Mo2N	230①	510	30	80	150
ZG07Cr19Ni11Mo2	180①	440	30	60	150
ZG08Cr19Ni11Mo2Nb	180①	440	25	40	150
ZG03Cr19Ni11Mo3	180①	440	30	80	150
ZG03Cr19Ni11Mo3N	230①	510	30	80	150
ZG07Cr19Ni11Mo3	180①	440	30	60	150
ZG03Cr26Ni5Cu3Mo3N	450	650	18	50	150
ZG03Cr26Ni5Mo3N	450	650	18	50	150
ZG03Cr14Ni14Si4	245(R_{eL})	490	60	270	150

① $R_{p1.0}$的最小值大于 25N/mm^2。

2. 工程结构用中高强度不锈钢铸件

（1）牌号及化学成分（见表1-23）

表1-23　工程结构用中高强度不锈钢铸件的牌号及化学成分（GB/T 6967—2009）

牌号	化学成分(质量分数,%)											
	C	Si ≤	Mn ≤	P ≤	S ≤	Cr	Ni	Mo	残余元素≤			
									Cu	V	W	总量
ZG20Cr13	0.16～0.24	0.80	0.80	0.035	0.025	11.5～13.5	—	—	0.50	0.05	0.10	0.50
ZG15Cr13	≤0.15	0.80	0.80	0.035	0.025	11.5～13.5	—	—	0.50	0.05	0.10	0.50
ZG15Cr13Ni1	≤0.15	0.80	0.80	0.035	0.025	11.5～13.5	≤1.00	≤0.50	0.50	0.05	0.10	0.50
ZG10Cr13Ni1Mo	≤0.10	0.80	0.80	0.035	0.025	11.5～13.5	0.8～1.80	0.20～0.50	0.50	0.05	0.10	0.50
ZG06Cr13Ni4Mo	≤0.06	0.80	1.00	0.035	0.025	11.5～13.5	3.5～5.0	0.40～1.00	0.50	0.05	0.10	0.50
ZG06Cr13Ni5Mo	≤0.06	0.80	1.00	0.035	0.025	11.5～13.5	4.5～6.0	0.40～1.00	0.50	0.05	0.10	0.50
ZG06Cr16Ni5Mo	≤0.06	0.80	1.00	0.035	0.025	15.5～17.0	4.5～6.0	0.40～1.00	0.50	0.05	0.10	0.50
ZG04Cr13Ni4Mo	≤0.04	0.80	1.50	0.030	0.010	11.5～13.5	3.5～5.0	0.40～1.00	0.50	0.05	0.10	0.50
ZG04Cr13Ni5Mo	≤0.04	0.80	1.50	0.030	0.010	11.5～13.5	4.5～6.0	0.40～1.00	0.50	0.05	0.10	0.50

3. 力学性能（见表 1-24）

表 1-24 工程结构用中高强度不锈钢铸件的力学性能（GB/T 6967—2009）

牌号		规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥	抗拉强度 R_m/MPa ≥	断后伸长率 A(%) ≥	断面收缩率 Z(%) ≥	冲击吸收功 A_{KV}/J ≥	硬度 HBW
ZG15Cr13		345	540	18	40	—	163 ~ 229
ZG20Cr13		390	590	16	35	—	170 ~ 235
ZG15Cr13Ni1		450	590	16	35	20	170 ~ 241
ZG10Cr13Ni1Mo		450	620	16	35	27	170 ~ 241
ZG06Cr13Ni4Mo		550	750	15	35	50	221 ~ 294
ZG06Cr13Ni5Mo		550	750	15	35	50	221 ~ 294
ZG06Cr16Ni5Mo		550	750	15	35	50	221 ~ 294
ZG04Cr13Ni4Mo	HT1①	580	780	18	50	80	221 ~ 294
	HT2②	830	900	12	35	35	294 ~ 350
ZG04Cr13Ni5Mo	HT1①	580	780	18	50	80	221 ~ 294
	HT2②	830	900	12	35	35	294 ~ 350

① 回火温度应为 600 ~ 650℃。
② 回火温度应为 500 ~ 550℃。

1.2 铸铁

1.2.1 铸铁分类及牌号表示方法

1. 铸铁分类（见表 1-25）

表 1-25 铸铁的分类

分类		特征			
		组织	断口	成分(质量分数)	性能
工程结构件用铸铁	灰铸铁	基体 + 片状石墨	灰色	仅含 C、Si、Mn、P、S 五元素或外加少量合金元素	抗拉强度为 150 ~ 400MPa,基本上无塑性
	球墨铸铁	基体 + 球状石墨	灰色(银白色)	1）普通五元素或外加不同量的合金元素 2）w(Mg 残)≥0.03%,w(RE 残)≥0.02%	抗拉强度为 400 ~ 900MPa,断后伸长率为 2% ~ 20%,冲击韧度为 15 ~ 120J/cm^2

（续）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">分类</th><th colspan="4">特　　征</th></tr>
<tr><th>组织</th><th>断口</th><th>成分(质量分数)</th><th>性能</th></tr>
<tr><td rowspan="2">工程结构件用铸铁</td><td>蠕墨铸铁</td><td>基体＋蠕虫状石墨(往往伴有球状石墨)</td><td>灰色(斑点状)</td><td>同球墨铸铁，但 Mg 残量和 RE 残量可稍低</td><td>抗拉强度和断后伸长率比球墨铸铁低，高于灰铸铁</td></tr>
<tr><td>可锻铸铁(黑心)</td><td>生坯:珠光体＋莱氏体
退火后:基体＋团絮状石墨</td><td>生坯:白色
退火后:灰色(黑色绒状)</td><td>低碳,低硅,$w(Cr) \leqslant 0.06\%$</td><td>抗拉强度为 300～700MPa,断后伸长率为 2%～12%</td></tr>
<tr><td rowspan="4">特种性能铸铁</td><td>抗磨铸铁</td><td>基体＋不同类型渗碳体</td><td>银白色(抗磨球墨铸铁例外)</td><td>除五元素外,可加入合金元素</td><td>有高的抗磨性能,但韧性较低</td></tr>
<tr><td>冷硬铸铁</td><td>表层:基体＋渗碳体
内层:基体＋各类石墨</td><td>表层白口
内层灰口</td><td>除五元素外，可加入不同的合金元素</td><td>外层耐磨,内层强度高</td></tr>
<tr><td>耐热铸铁</td><td>基体＋片状或球状石墨</td><td>灰色</td><td>有 Si、Al、Cr 系(中硅、高铝、中硅铝、高铝等铸铁)</td><td>有高的耐热性及抗氧化性能，但强度较低，较脆</td></tr>
<tr><td>耐蚀铸铁</td><td>基体＋片状或球状石墨</td><td>灰色</td><td>主要合金元素 Si、Ni 含量高</td><td>高的耐蚀性能</td></tr>
</table>

2. 铸铁牌号表示方法

（1）铸铁的基本代号（见表 1-26）

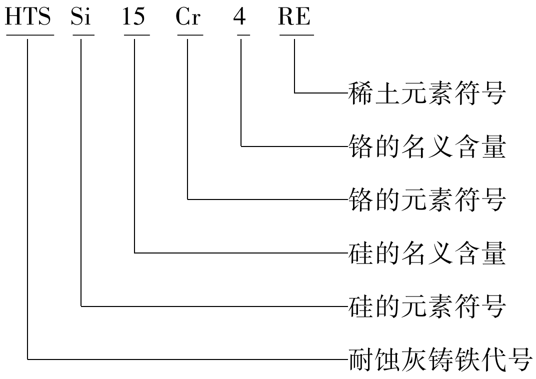
表 1-26　铸铁的基本代号（GB/T 5612—2008）

铸 铁 名 称	代　　号	牌号表示方法实例
灰铸铁	HT	HT250，HTCr-300
奥氏体灰铸铁	HTA	HTANi20Cr2
冷硬灰铸铁	HTL	HTLCr1Ni1Mo
耐磨灰铸铁	HTM	HTMCu1CrMo
耐热灰铸铁	HTR	HTRCr
耐蚀灰铸铁	HTS	HTSNi2Cr
球墨铸铁	QT	QT400-18
奥氏体球墨铸铁	QTA	QTANi30Cr3
冷硬球墨铸铁	QTL	QTLCrMo

（续）

铸铁名称	代　　号	牌号表示方法实例
抗磨球墨铸铁	QTM	QTMMn8-30
耐热球墨铸铁	QTR	QTRSi5
耐蚀球墨铸铁	QTS	QTSNi20Cr2
蠕墨铸铁	RuT	RuT420
白心可锻铸铁	KTB	KTB350-04
黑心可锻铸铁	KTH	KTH350-10
珠光体可锻铸铁	KTZ	KTZ650-02
白口铸铁	BT	
抗磨白口铸铁	BTM	BTMCr15Mo
耐热白口铸铁	BTR	BTRCr16
耐蚀白口铸铁	BTS	BTSCr28

（2）以化学成分表示铸铁牌号的方法　①合金元素符号和名义含量（质量分数）排在铸铁代号之后；②在牌号中常规五元素碳、硅、锰、硫和磷一般不标注，有特殊作用时才标注其元素符号及含量；③合金化元素的质量分数大于或等于1%时在牌号中用整数标注，小于1%时一般不标注，只有对该合金特性有较大影响时才标注其合金化元素符号；④合金化元素按其含量递减次序排列，含量相等时按元素符号的字母顺序排列。举例如下：



（3）以力学性能表示铸铁牌号的方法　①将力学性能值排在铸铁代号之后，当牌号中有合金元素符号时，抗拉强度值排列在元素符号及含量之后，之间用“-”隔开；②牌号中代号后面有一组数值时，该组数值表示抗拉强度（MPa）；若有两组数值，则第二组数值表示断后伸长率值（%），两组数之间用“-”隔开。举例如下：

QTM Mn 8 - 300

- QTM——抗磨球墨铸铁代号
- Mn——锰的元素符号
- 8——锰的名义含量
- 300——抗拉强度(MPa)

QT 400 - 18

- QT——球墨铸铁代号
- 400——抗拉强度(MPa)
- 18——断后伸长率(%)

1.2.2 灰铸铁

1. 灰铸铁的牌号及力学性能（见表1-27）

表1-27　灰铸铁的牌号及力学性能（GB/T 9439—2010）

牌号	铸件壁厚/mm		最小抗拉强度 R_m（强制性值）/MPa		铸件本体预期抗拉强度 R_m/MPa
	>	≤	单铸试棒 ≥	附铸试棒或试块 ≥	≥
HT100	5	40	100	—	—
HT150	5	10	150	—	155
	10	20		—	130
	20	40		120	110
	40	80		110	95
	80	150		100	80
	150	300		90①	—
HT200	5	10	200	—	205
	10	20		—	180
	20	40		170	155
	40	80		150	130
	80	150		140	115
	150	300		130①	—
HT225	5	10	225	—	230
	10	20		—	200
	20	40		190	170
	40	80		170	150
	80	150		155	135
	150	300		145①	—
HT250	5	10	250	—	250
	10	20		—	225
	20	40		210	195

（续）

牌号	铸件壁厚/mm		最小抗拉强度 R_m（强制性值）/MPa		铸件本体预期抗拉强度 R_m/MPa ≥
	>	≤	单铸试棒 ≥	附铸试棒或试块 ≥	
HT250	40	80	250	190	170
	80	150		170	155
	150	300		160①	—
HT275	10	20	275	—	250
	20	40		230	220
	40	80		205	190
	80	150		190	175
	150	300		175①	—
HT300	10	20	300	—	270
	20	40		250	240
	40	80		220	210
	80	150		210	195
	150	300		190①	—
HT350	10	20	350	—	315
	20	40		290	280
	40	80		260	250
	80	150		230	225
	150	300		210①	—

注：1. 当铸件壁厚超过 300mm 时，其力学性能由供需双方商定。

2. 当某牌号的铁液浇注壁厚均匀、形状简单的铸件时，壁厚变化引起抗拉强度的变化，可从本表查出参考数据，当铸件壁厚不均匀，或有型芯时，此表只能给出不同壁厚处大致的抗拉强度值，铸件的设计应根据关键部位的实测值进行。

① 表中斜体字数值表示指导值，其余抗拉强度值均为强制性值，铸件本体预期抗拉强度值不作为强制性值。

2. 灰铸铁的硬度等级和铸件硬度（见表 1-28）

表 1-28　灰铸铁的硬度等级和铸件硬度（GB/T 9439—2010）

硬度等级	铸件主要壁厚/mm		铸件上的硬度范围 HBW	
	>	≤	min	max
H155	5	10	—	185
	10	20	—	170
	20	40	—	160
	40	**80**	—	**155**

（续）

硬度等级	铸件主要壁厚/mm		铸件上的硬度范围 HBW	
	>	≤	min	max
H175	5	10	140	225
	10	20	125	205
	20	40	110	185
	40	**80**	**100**	**175**
H195	4	5	190	275
	5	10	170	260
	10	20	150	230
	20	40	125	210
	40	**80**	**120**	**195**
H215	5	10	200	275
	10	20	180	255
	20	40	160	235
	40	**80**	**145**	**215**
H235	10	20	200	275
	20	40	180	255
	40	**80**	**165**	**235**
H255	20	40	200	275
	40	**80**	**185**	**255**

注：1. 硬度和抗拉强度的关系见 GB/T 9439—2010 附录 B，硬度和壁厚的关系见 GB/T 9439—2010 附录 C。
2. 黑体数字表示与该硬度等级所对应的主要壁厚的最大和最小硬度值。
3. 在供需双方商定的铸件某位置上，铸件硬度差可以控制在 40HBW 硬度值范围内。

3. 灰铸铁的金相组织

GB/T 7216—2009《灰铸铁金相检验》对灰铸铁的石墨分布形状（见表 1-29）、石墨长度的分级（见表 1-30）、珠光体数量的分级（见表 1-31）、碳化物数量的分级（见表 1-32）和磷共晶数量的分级（见表 1-33）等作了规定。

表 1-29　石墨分布形状（GB/T 7216—2009）

石墨类型	说　　明	石墨类型	说　　明
A	片状石墨呈无方向性均匀分布	D	细小卷曲的片状石墨在枝晶间呈无方向性分布
B	片状及细小卷曲的片状石墨聚集成菊花状分布	E	片状石墨在枝晶二次分枝间呈方向性分布
C	初生的粗大直片状石墨	F	初生的星状(或蜘蛛状)石墨

表1-30 石墨长度的分级（GB/T 7216—2009）

级别	在100倍下观察石墨长度/mm	实际石墨长度/mm	级别	在100倍下观察石墨长度/mm	实际石墨长度/mm
1	≥100	≥1	5	>6～12	>0.06～0.12
2	>50～100	>0.5～1	6	>3～6	>0.03～0.06
3	>25～30	>0.25～0.5	7	>1.5～3	>0.015～0.03
4	>12～25	>0.12～0.25	8	≤1.5	≤0.015

表1-31 珠光体数量的分级（GB/T 7216—2009）

级别	名称	珠光体数量(体积分数,%)	级别	名称	珠光体数量(体积分数,%)
1	珠98	≥98	5	珠70	<75～65
2	珠95	<98～95	6	珠60	<65～55
3	珠90	<95～85	7	珠50	<55～45
4	珠80	<85～75	8	珠40	<45

表1-32 碳化物数量的分级（GB/T 7216—2009）

级别	名称	碳化物数量(体积分数,%)	级别	名称	碳化物数量(体积分数,%)
1	碳1	≈1	4	碳10	≈10
2	碳3	≈3	5	碳15	≈15
3	碳5	≈5	6	碳20	≈20

表1-33 磷共晶数量（GB/T 7216—2009）

级别	名称	磷共晶数量(体积分数,%)	级别	名称	磷共晶数量(体积分数,%)
1	磷1	≈1	4	磷6	≈6
2	磷2	≈2	5	磷8	≈8
3	磷4	≈4	6	磷10	≈10

4. 灰铸铁的铸造性能

1）具有良好的流动性，容易充填形状复杂的薄壁铸件，且不易产生气孔、浇不足、冷隔等缺陷。

2）较小的体收缩和线收缩。灰铸铁在凝固过程中部分的碳以石墨形式析出并伴

随相变膨胀。因此，灰铸铁形成缩孔的倾向小，常可不用补缩冒口即可获得健全铸件。铸件出现翘曲变形和开裂的倾向较小。砂型铸造灰铸铁的线收缩在 0.5% ~ 1.3%，一般采用 1%。

3）铸造应力，由于铸件壁厚不同导致冷却速度不一和型芯存在妨碍铸件收缩，在铸件内引起铸造应力。对于单件小批、尺寸精度要求特别高的灰铸铁件，铸造应力可用 480 ~ 600℃ 的时效热处理来消除。

4）灰铸铁件的断面敏感性比其他金属大。减少铸件断面敏感性的措施：一是强化孕育处理；二是使用少量的合金元素。

5. 灰铸铁的特性和用途（见表 1-34）

表 1-34　灰铸件的特性和用途

牌　　号	特性和用途
HT100	属低强度铸铁件，铸造性能好，工艺简便，铸造应力小，可不用人工时效处理；减振性优良。适用于制造形式简单，载荷小，对摩擦和磨损无特殊要求的机械结构件，如盖、外罩、油盘、手轮、手把、支架、底板、重锤等
HT150	属中强度铸铁件，铸造性能好，工艺简单，铸造应力小，不用人工时效；有一定的机械强度和良好的减振性。适用于制造承受中等应力（弯曲应力 <9.81MPa；摩擦面间的单位面积压力 <0.49MPa）的零件，在弱腐蚀介质中工作的零件，如盖、轴承座、阀壳、手轮、机床底座、床身、圆周速度为 6 ~ 12m/s 的带轮；工作压力不大的管子配件及壁厚≤30mm 的耐磨轴套等
HT200 HT225 HT250	属较高强度铸铁件，强度、耐磨性、耐热性均较好，减振性亦良好；铸造性能较好；需进行人工时效处理。适用于制造承受较大应力［弯曲应力 <29.40MPa，摩擦面间的单位面积压力 >0.49MPa（大于 10t 的铸件可大于 1.47MPa）］的零件以及要求一定的气密性和耐弱腐蚀性介质的零件。如气缸、齿轮、机座、金属切削机床床身及床面等；汽车、拖拉机的气缸体、气缸盖、活塞、制动轮、联轴器盘；圆周速度为 12 ~ 20m/s 的带轮以及要求有一定耐蚀性和较高强度的化工容器、泵壳、塔器等
HT275 HT300 HT350	属高强度、高耐磨铸件，强度高，耐磨性好，但白口倾向大；铸造性能差；需进行人工时效处理。适用于制造承受高应力（弯曲应力 <49MPa，摩擦面间单位压力≥1.96MPa）和抗拉张力的部件，以及要求保持高度气密性的零件，例如，机械制造中重要的铸件：机床床身导轨、车床、冲床、剪床和其他重型机械等受力较大的床身、机座、主轴箱、卡盘、齿轮、凸轮、衬套；大型发动机的曲轴、气缸体、缸套、气缸盖等；高压的液压缸、泵体、阀体；镦锻和热锻锻模、冷冲模等；圆周速度为 20 ~ 25m/s 的带轮等

1.2.3　球墨铸铁

1. 球墨铸铁的牌号及力学性能

（1）球墨铸铁牌号及单铸试样的力学性能（见表 1-35）

表1-35 球墨铸铁牌号及单铸试样的力学性能（GB/T 1348—2009）

牌号	抗拉强度 R_m/MPa ≥	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥	断后伸长率 A(%) ≥	硬度 HBW	主要基体组织
QT350-22L	350	220	22	≤160	铁素体
QT350-22R	350	220	22	≤160	铁素体
QT350-22	350	220	22	≤160	铁素体
QT400-18L	400	240	18	120～175	铁素体
QT400-18R	400	250	18	120～175	铁素体
QT400-18	400	250	18	120～175	铁素体
QT400-15	400	250	15	120～180	铁素体
QT450-10	450	310	10	160～210	铁素体
QT500-7	500	320	7	170～230	铁素体+珠光体
QT550-5	550	350	5	180～250	铁素体+珠光体
QT600-3	600	370	3	190～270	珠光体+铁素体
QT700-2	700	420	2	225～305	珠光体
QT800-2	800	480	2	245～335	珠光体或索氏体
QT900-2	900	600	2	280～360	回火马氏体或托氏体+索氏体

注：1. 如需求QT500-10时，其性能要求见表4-3。
2. 字母“L”表示该牌号有低温（-20℃或-40℃）下的冲击性能要求；字母“R”表示该牌号有室温（23℃）下的冲击性能要求。
3. 断后伸长率是从原始标距 $L_0=5d$ 上测得的，d 是试样上原始标距处的直径。

（2）球墨铸铁牌号及附铸试样的力学性能（见表1-36）

表1-36 球墨铸铁牌号及附铸试样的力学性能（GB/T 1348—2009）

牌号	铸件壁厚 t/mm	抗拉强度 R_m/MPa≥	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa≥	断后伸长率 A(%)≥	硬度 HBW	主要基体组织
QT350-22AL	≤30	350	220	22	≤160	铁素体
	>30～60	330	210	18		
	>60～200	320	200	15		
QT350-22AR	≤30	350	220	22	≤160	铁素体
	>30～60	330	220	18		
	>60～200	320	210	15		
QT350-22A	≤30	350	220	22	≤160	铁素体
	>30～60	330	210	18		
	>60～200	320	200	15		
QT400-18AL	≤30	380	240	18	120～175	铁素体
	>30～60	370	230	15		
	>60～200	360	220	12		

（续）

牌　号	铸件壁厚 t/mm	抗拉强度 R_m /MPa≥	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa≥	断后伸长率 A(%)≥	硬度 HBW	主要基体组织
QT400-18AR	≤30	400	250	18	120～175	铁素体
	>30～60	390	250	15		
	>60～200	370	240	12		
QT400-18A	≤30	400	250	18	120～175	铁素体
	>30～60	390	250	15		
	>60～200	370	240	12		
QT400-15A	≤30	400	250	15	120～180	铁素体
	>30～60	390	250	14		
	>60～200	370	240	11		
QT450-10A	≤30	450	310	10	160～210	铁素体
	>30～60	420	280	9		
	>60～200	390	260	8		
QT500-7A	≤30	500	320	7	170～230	铁素体+珠光体
	>30～60	450	300	7		
	>60～200	420	290	5		
QT550-5A	≤30	550	350	5	180～250	铁素体+珠光体
	>30～60	520	330	4		
	>60～200	500	320	3		
QT600-3A	≤30	600	370	3	190～270	珠光体+铁素体
	>30～60	600	360	2		
	>60～200	550	340	1		
QT700-2A	≤30	700	420	2	225～305	珠光体
	>30～60	700	400	2		
	>60～200	650	380	1		
QT800-2A	≤30	800	480	2	245～335	珠光体或索氏体
	>30～60	由供需双方商定				
	>60～200					
QT900-2A	≤30	900	600	2	280～360	回火马氏体或索氏体+托氏体
	>30～60	由供需双方商定				
	>60～200					

注：1. 从附铸试样测得的力学性能并不能准确地反映铸件本体的力学性能，但与单铸试棒上测得的值相比更接近于铸件的实际性能值。

2. 断后伸长率在原始标距 $L_0=5d$ 上测得，d 是试样上原始标距处的直径。

2. 球墨铸铁的金相组织

球墨铸铁的金相组织主要由球状（少量团状）石墨、金属基体和晶界物组成。GB/T 9441—2009《球墨铸铁金相检验》规定了球墨铸铁的球化分级（见表1-37）、石墨大小分级（见表1-38）、铁素体数量分级（见表1-39）、珠光体数量分级（见表1-40）、碳化物数量分级（见表1-41）和磷共晶数量分级（见表1-42）。

表1-37 球化分级（GB/T 9441—2009）

分 级	石墨特征	球化率(%)
1级	石墨成球状,少量团状,允许极少量团絮状	≥95
2级	石墨大部分呈球状,余为团状和几少量团絮状	90
3级	石墨大部分呈团状和球状,余为团絮状,允许有极少量蠕虫状	80
4级	石墨大部分呈团状和团状,余为球状和少量蠕虫状	70
5级	石墨呈分散分布的蠕虫状、球状、团状、团絮状	60
6级	石墨呈聚集分布的蠕虫状、片状及球状、团状、团絮状	50

表1-38 石墨大小分级（GB/T 9441—2009）

级别	石墨直径(在100倍下观察)/mm	级别	石墨直径(在100倍下观察)/mm
3级	>25~50	6级	>3~6
4级	>12~25	7级	>1.5~3
5级	>6~12	8级	≤1.5

表1-39 铁素体数量分级（GB/T 9441—2009）

名称	块状或网状铁素体数量(体积分数,%)	名称	块状或网状铁素体数量(体积分数,%)
铁5	≈5	铁20	≈20
铁10	≈10	铁25	≈25
铁15	≈15	铁30	≈30

表1-40 珠光体数量分级（GB/T 9441—2009）

名称	珠光体数量(体积分数,%)	名称	珠光体数量(体积分数,%)
珠95	>90	珠35	>30~40
珠85	>80~90	珠25	≈25
珠75	>70~80	珠20	≈20
珠65	>60~70	珠15	≈15
珠55	>50~60	珠10	≈10
珠45	>40~50	珠5	≈5

表 1-41　碳化物数量分级（GB/T 9441—2009）

名称	碳化物数量(体积分数,%)	名称	碳化物数量(体积分数,%)
碳 1	≈1	碳 5	≈5
碳 2	≈2		
碳 3	≈3	碳 10	≈10

表 1-42　磷共晶数量分级（GB/T 9441—2009）

名称	磷共晶数量(体积分数,%)	名称	磷共晶数量(体积分数,%)
磷 0.5	≈0.5	磷 2	≈2
磷 1	≈1		
磷 1.5	≈1.5	磷 3	≈3

3. 球墨铸铁的化学成分

（1）铁素体球墨铸铁的化学成分（见表 1-43）

表 1-43　铁素体球墨铸铁推荐的化学成分

种　类	(质量分数,%)						
	C	Si	Mn≤	P≤	S≤	Mg	RE
退火铁素体球墨铸铁①	3.5～3.9	2.0～2.7	0.6	0.07	0.02	0.03～0.06	0.02～0.04
铸态铁素体球墨铸铁②	3.5～3.9	2.5～3.0	0.3	0.07	0.02	0.03～0.06	0.02～0.04
低温用铁素体球墨铸铁③	3.5～3.9	1.4～2.4	0.2	0.04	0.01	0.04～0.06	—

① 指必须经退火处理才能达到铁素体化的球墨铸铁。
② 指未经热处理达到铁素体化的球墨铸铁。
③ 指在 -40℃仍保持足够冲击韧性的球墨铸铁。

（2）珠光体球墨铸铁化学成分（见表 1-44）

表 1-44　珠光体球墨铸铁推荐的化学成分

状态	(质量分数,%)						
	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cu	Mo
铸态	3.6～3.8	2.1～2.5	0.3～0.5	0.07	0.02	0.5～1.0	0～0.2
热处理	3.5～3.7	2.0～2.4	0.4～0.8	0.07	0.02	0～1.0	0～0.2

（3）等温淬火球墨铸铁　等温淬火球墨铸铁一般是将球墨铸铁经奥氏体化（850～950℃保温）处理后，以快速置入盐浴（232～450℃）中进行等温转变而成。国际上称之为 ADI（Austempered Ductile Iron），即奥氏体等温淬火球墨铸铁。等温淬火球墨铸铁基本化学成分见表 1-45。

表1-45 等温淬火球墨铸铁基本化学成分

基本化学成分(质量分数,%)					用盐浴等温淬火工艺获得针状铁素体球墨铸铁时,不同铸件壁厚所对应的合金元素推荐含量(质量分数,%)		
C	Si	Mn	P	S	铸件壁厚/mm	Mo	Cu
3.5~3.8	2.4~3.0	<0.3	<0.07	<0.02	<10	—	—
					10~25	0.1~0.2	0.5~0.8
					26~37	0.1~0.2	0.8~1.2
					38~50	0.15~0.3	0.8~1.2

(4) 马氏体球墨铸铁的化学成分(见表1-46)

表1-46 马氏体球墨铸铁的化学成分

状态	(质量分数,%)							组织与性能
	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cu	Mo	
油淬	3.5~3.7	2.0~2.4	0.4~0.8	0.07	0.02	0~1.0	0~0.2	马氏体
空冷(850℃±10℃保温后空冷)	3.5~3.6	≤2.0	3.4~3.6	0.1	0.03	—	0.04~0.06	马氏体+少量残留奥氏体;具有良好耐磨性
	3.5~3.6	≤2.0	2.4~2.6	0.1	0.03	—	0.8~1.0	马氏体+少量残留奥氏体;具有良好耐磨性,韧性得到提高
等温淬火	采用等温淬火球墨铸铁成分		通过奥氏体化后在盐浴中进行等温淬火,等温温度200~220℃					全马氏体
铸态	3.3~3.8	3.3~4.6	5.0~6.5	0.1	0.03	—	—	马氏体+贝氏体+残留奥氏体+一定数量碳化物

注:通过Ni、Cr、Mo元素合金化,可以在铸态获得具有马氏体基体组织的大型铸件,如轧辊、辊环等。

4. 球墨铸铁铸造性能

(1) 流动性 球墨铸铁的流动性好于高牌号灰铸铁,但低于相同碳当量的灰铸铁;添加稀土可改善流动性。球墨铸铁碳当量的质量分数为4.6%~4.7%时,流动性最好。

(2) 收缩倾向 球墨铸铁趋向于呈固-液共存的糊状凝固。球墨铸铁件易产生缩松和尺寸增大。缩松缩孔的体积与碳当量、铸型刚度、浇注温度、球化率高低等因素有关。球墨铸铁的自由线收缩率为0.6%~1.2%,球墨铸铁的受阻线收缩率为0.7%~1.0%。

(3) 铸造应力及裂纹倾向　球墨铸铁铸造应力是灰铸铁的 2 ~ 3 倍，与铸钢相近。具有冷裂倾向。

5. 球墨铸铁的特性及用途（见表 1-47）

表 1-47　球墨铸铁的特性及用途

牌　　号	特性及用途
QT400-18 QT400-15	具有良好的焊接性和切削加工性。常温时冲击韧性高，而且韧脆转变温度低，低温韧性也好。适用于农机具，如重型机引五铧犁、轻型二铧犁、悬挂犁上的犁柱、犁托等，收割机及割草机上的导架、差速器壳等；汽车、拖拉机、手扶拖拉机上的牵引杠、轮毂、驱动桥壳体、离合器壳、叉、弹簧吊耳等；通用机械中，如 1.6 ~ 6.4N/mm^2 阀门的阀体、阀盖、支架；压缩机上承受一定温度的高低压气缸、输气管以及铁路垫板、电动机壳、齿轮箱等
QT450-10	焊接性及切削加工性均较好，塑性略低于 QT400-18，而强度与小能量冲击韧性优于 QT400-18，用途同 QT400-18
QT500-7	具有中等强度与塑性，切削加工性尚好。适用于制造内燃机的机油泵齿轮、汽轮机中温气缸隔板、水轮机的阀门体、铁路机车车辆轴瓦、机器座架、传动轴、链轮、飞轮、电动机架、千斤顶座等
QT600-3	具有中高强度，低塑性，耐磨性较好。适用于制造内燃机零部件，如 4 ~ 3000kW 柴油机和汽油机的曲轴、部分轻型柴油机和汽油机的凸轮轴、气缸套、连杆、进排气门座；农机具，如脚踏脱粒机齿条、轻负荷齿轮、畜力犁铧；机床零部件，如部分磨床、铣床、车床的主轴；通用机械零部件，如空调机、气压机、冷冻机、制氧机及泵的曲轴、缸体、缸套；冶金、矿山、起重机械零部件，如球磨机齿轴、矿车轮、桥式起重机大小车滚轮等
QT700-2 QT800-2	具有较高的强度和耐磨性，但韧性及塑性较低。其用途与 QT600-3 相同
QT900-2	具有高强度和耐磨性，较高的弯曲疲劳强度、接触疲劳强度和一定的韧性。适用于制造农机具，如犁铧、耙片、低速农用轴承套圈；汽车零件，如弧齿锥齿轮、转向节、传动轴；拖拉机减速器齿轮；内燃机零件，如凸轮轴、曲轴

1.2.4　蠕墨铸铁

1. 蠕墨铸铁的牌号及力学性能（见表 1-48）

表 1-48　蠕墨铸铁的牌号及力学性能（JB/T 4403—1999）

牌号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率(%)	硬度值 HBW	蠕化率 (%) ≥	主要基体组织
	≥					
RuT420	420	335	0.75	200 ~ 280	50	珠光体
RuT380	380	300	0.75	193 ~ 274		珠光体
RuT340	340	270	1.0	170 ~ 249		珠光体 + 铁素体
RuT300	300	240	1.5	140 ~ 217		铁素体 + 珠光体
RuT260	260	195	3	121 ~ 197		铁素体

注：蠕墨铸铁按单铸试块的抗拉强度分为 5 种牌号，一般以单铸试块的抗拉强度作为验收依据。其中，RuT260 的断后伸长率必须验收。此外，如需方对屈服强度、断后伸长率、硬度提出要求时，可按表中验收，或协商另定技术条件。

2. 蠕墨铸铁的金相组织

（1）石墨形态及蠕化率（见表1-49）

表1-49 蠕墨铸铁的石墨形态及蠕化率（JB/T 4403—1999）

石墨形态	蠕虫状石墨、卷曲状石墨、珊瑚状石墨								
蠕化率分级	蠕95	蠕85	蠕75	蠕65	蠕55	蠕45	蠕35	蠕25	蠕15
蠕虫状石墨数量（体积分数,%）	>95	>80~90	>70~80	>60~70	>50~60	>40~50	>30~40	>20~30	>10~20

（2）基体组织（见表1-50）

表1-50 蠕墨铸铁的珠光体、磷共晶、碳化物数量分级（JB/T 4403—1999）

珠光体数量分级			
级别	珠光体数量（体积分数,%）	级别	珠光体数量（体积分数,%）
珠95	>90	珠45	>40~50
珠85	>80~90	珠35	>30~40
珠75	>70~80	珠25	>20~30
珠65	>60~70	珠15	>10~20
珠55	>50~60	珠5	≤10

磷共晶数量分级					
级　别	磷0.5	磷1	磷2	磷3	磷5
磷共晶数量（体积分数,%）	≈0.5	≈1	≈2	≈3	≈5

碳化物数量分级						
级　别	碳1	碳2	碳3	碳5	碳7	碳10
碳化物数量（体积分数,%）	≈1	≈2	≈3	≈5	≈7	≈10

3. 蠕墨铸铁的化学成分（见表1-51）

表1-51 蠕墨铸铁原铁液的化学成分

蠕墨铸铁牌号	原铁液化学成分（质量分数,%）					基体组织
	C	Si	Mn	P	S	
RuT260	3.6~3.8	1.5~1.8	<0.4	<0.07	<0.08	铁素体
RuT300、RuT340	3.6~3.8	1.5~1.8	0.3~0.7	<0.08	<0.08	铁素体-珠光体
RuT380、RuT420	3.6~3.8	1.0~1.6	0.5~0.9	<0.10	<0.08	珠光体

注：蠕墨铸铁生产中，常用的碳当量CE=4.3%~4.6%。

4. 蠕墨铸铁的铸造性能（见表1-52）

表1-52　蠕墨铸铁的铸造性能

序号	铸造性能	特　　点
1	流动性	具有良好的流动性。流动性好于球墨铸铁和合金灰铸铁
2	收缩性	蠕墨铸铁的缩前膨胀大于灰铸铁。其体收缩与蠕化率有关，蠕化率越高，体收缩率越小，最终接近灰铸铁。反之，蠕化率越低，体收缩率越大，最终接近球墨铸铁
3	铸造应力	蠕墨铸铁的铸造应力稍大于合金铸铁，但小于球墨铸铁。用蠕墨铸铁生产的气缸盖等复杂铸件，应与合金铸铁一样，重视进行去应力退火
4	白口倾向	蠕墨铸铁白口倾向大于灰铸铁，小于球墨铸铁。与所用的蠕化剂有关，以稀土为主的蠕化剂白口倾向较大，镁系蠕化剂白口倾向较小。生产薄壁蠕墨铸铁件时，应选用白口倾向小的蠕化剂
5	断面敏感性	我国标准规定蠕化率应大于50%，蠕化率越高，断面厚度对蠕化率的敏感性越小。蠕墨铸铁抗拉强度的断面敏感性小于灰铸铁

5. 蠕墨铸铁的适用范围（见表1-53）

表1-53　蠕墨铸铁的适用范围

牌号	性能特点	适用范围	应用案例
RuT420 RuT380	强度高，硬度高，具有高耐磨性，铸件材质中需加入合金元素或经正火热处理	适用于制造要求强度和耐磨性高的零件	活塞环、气缸套、制动盘、玻璃模具、制动鼓、钢珠研磨盘、吸淤泵体等
RuT340	强度、硬度较高，具有较高的耐磨性和热导率	适用于制造要求较高强度、刚度及要求耐磨的零件	带导轨面的重型机床件、大型龙门铣横梁，大型齿轮箱体、盖、座、制动鼓、飞轮、玻璃模具、起重机卷筒、烧结机滑板、液压阀体等
RuT300	强度和硬度适中，有一定的塑韧性，热导率较高，致密性较好	适用于制造要求较高强度及承受热疲劳的零件	排气管、变速器体、气缸盖、纺织机零件、液压件、某些小型烧结机箅条等
RuT260	强度一般、硬度较低、有较高的塑韧性和热导率，铸件一般需退火热处理	适用于制造承受冲击负荷及热疲劳的零件	增压器废气进气壳体、汽车、拖拉机的某些底盘零件

1.2.5　可锻铸铁

1. 可锻铸铁的牌号及力学性能

（1）黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁的牌号及力学性能（见表1-54）

表 1-54 黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁的牌号及力学性能（GB/T 9440—2010）

牌　　号	试样直径 d[①]/mm	抗拉强度 R_m/MPa ≥	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥	断后伸长率 $A(L_0=3d)$(%) ≥	布氏硬度 HBW
KTH 275-05[②]	12 或 15	275	—	5	≤150
KTH 300-06[②]	12 或 15	300	—	6	
KTH 330-08	12 或 15	330	—	8	
KTH 350-10	12 或 15	350	200	10	
KTH 370-12	12 或 15	370	—	12	
KTZ 450-06	12 或 15	450	270	6	150～200
KTZ 500-05	12 或 15	500	300	5	165～215
KTZ 550-04	12 或 15	550	340	4	180～230
KTZ 600-03	12 或 15	600	390	3	195～245
KTZ 650-02[③④]	12 或 15	650	430	2	210～260
KTZ 700-02	12 或 15	700	530	2	240～290
KTZ 800-01[③]	12 或 15	800	600	1	270～320

① 如果需方没有明确要求，供方可以任意选取两种试棒直径中的一种。试样直径代表同样壁厚的铸件，如果铸件为薄壁件时，供需双方可以协商选取直径6mm或者9mm试样。

② KTH 275-05 和 KTH 300-06 专门用于保证压力密封性能，而不要求高强度或者高延展性的工作条件。

③ 油淬加回火。

④ 空冷加回火。

（2）白心可锻铸铁的牌号及力学性能（见表1-55）

表 1-55 白心可锻铸铁的牌号及力学性能（GB/T 9440—2010）

牌　　号	试样直径 d/mm	抗拉强度 R_m/MPa ≥	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥	断后伸长率 A $(L_0=3d)$(%) ≥	布氏硬度 HBW ≤
KTB 350-04	6	270	—	10	230
	9	310	—	5	
	12	350	—	4	
	15	360	—	3	
KTB 360-12	6	280	—	16	200
	9	320	170	15	
	12	360	190	12	
	15	370	200	7	
KTB 400-05	6	300	—	12	220
	9	360	200	8	
	12	400	220	5	
	15	420	230	4	

（续）

牌　　号	试样直径 d/mm	抗拉强度 R_m/MPa ≥	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa ≥	断后伸长率 A ($L_0=3d$)(%) ≥	布氏硬度 HBW ≤
KTB 450-07	6	330	—	12	220
	9	400	230	10	
	12	450	260	7	
	15	480	280	4	
KTB 550-04	6	—	—	—	250
	9	490	310	5	
	12	550	340	4	
	15	570	350	3	

注：1. 所有级别的白心可锻铸铁均可以焊接。
2. 对于小尺寸的试样，很难判断其规定非比例延伸强度，规定非比例延伸强度的检测方法和数值由供需双方在签订订单时商定。
3. 试样直径同表 1-52 中①。

2. 可锻铸铁的金相组织

GB/T 25746—2010《可锻铸铁金相检验》对可锻铸铁的金相组织的评级进行规定。

（1）石墨

1）石墨形状。可锻铸铁中的石墨形状分为五类，即球状、团絮状、絮状、聚虫状、枝晶状。通常不以单一形状出现。鉴于石墨形状对力学性能的影响，石墨形状需分级评定，可锻铸铁件一般应为 1 级或 2 级，不重要件可为 3 级。

2）石墨分布分级。石墨分布可分为三级：1 级是分布均匀或较均匀；2 级是分布不均匀但无方向性；3 级是石墨呈方向性分布。

3）石墨颗粒数分级。石墨颗粒数按每平方毫米的石墨颗数分为五级，即 1 级 >150，2 级 >110 ~ 150，3 级 >70 ~ 110，4 级 >30 ~ 70，5 级≤30。

（2）基体　通常可锻铸铁的基体组织为铁素体和珠光体。铁素体可锻铸铁中珠光体的残余量分五级（见表 1-56）。

表 1-56　珠光体残余量分级

级　　别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
珠光体残余量(体积分数,%)	≤10	>10 ~ 20	>20 ~ 30	>30 ~ 40	>40

（3）渗碳体　可锻铸铁坯件经过高温石墨化，共晶渗碳体已全部或大部分分解。渗碳体残余量的体积分数以 2% 为界，可分为两级，即渗碳体残余量的体积分数≤2% 为 1 级，渗碳体残余量的体积分数 >2% 为 2 级。

石墨颗粒数、残余珠光体量、渗碳体残余量等项目，在工厂评定中常要用到。

3. 可锻铸铁的铸造性能

可锻铸铁的铸造性能较差，铸件容易产生浇不到、缩孔、缩松和裂纹等缺陷。为

此，工艺上须采取提高浇注温度、放大浇道、增高压头、设置冒口、设置冷铁以及改善型砂芯砂溃散性等措施，铸件设计上应尽量避免热节。

1）流动性较差。要求较高的浇注温度，薄壁件 1350℃以上，中厚件 1320℃以上，但也不宜过高，以免增大收缩和产生开裂。

2）线收缩较大，线收缩率 1.8% ~2.0%。铸态组织为白口，白口坯件退火时产生石墨化膨胀，其值因碳量而异。铁素体可锻铸铁模样的缩尺采用 -0.1% ~1.0%，根据铸件结构、铸型硬度、铁液含碳量等决定。

3）可锻铸铁浇注温度较高，液态和凝固收缩率高达 5.3% ~6.0%，故易产生缩孔和缩松。

4）应力和裂纹倾向较大。

4. 可锻铸铁的特性及用途（见表 1-57）

表 1-57 可锻铸铁的特性及用途

牌　号	特性及用途
KTH300-06	有一定的韧性、适当的强度，气密性好。适用于制造承受低动载荷及静载荷、要求气密性好的工作零件，如管道弯头、三通、管件等配件，中低压阀门及瓷瓶铁帽等
KTH330-08	有一定的韧性和强度。适用于制造承受中等动载荷和静载荷的工作零件，如农机上的犁刀、犁柱、车轮壳、机床上用的勾型扳手、铁道扣板以及钢丝绳轧头等
KTH350-10、KTH370-12	有较高的韧性和强度。适用于制造在较高的冲击、振动及扭转负荷下工作的零件，如汽车、拖拉机上的前后轮壳、差速器壳、转向节壳、制动器等，农机上的犁刀、犁柱，以及铁道零件，冷暖器接头，船用电动机壳等
KTZ450-06、KTZ550-04、KTZ650-02、KTZ700-02	韧性较低，但强度大、耐磨性好，且加工性能良好。可代替低碳、中碳、低合金钢及有色合金制造承受较高动、静载荷、耐磨损，并要求有一定韧性的重要工作零件，如曲轴、连杆、齿轮、摇臂、凸轮轴、万向节头、活塞环、轴套、犁刀、传动链条、矿车轮等
KTB350-04、KTB360-12、KTB400-05、KTB450-07	薄壁件仍有较好的韧性；有非常优良的焊接性，可与钢钎焊；可加工性好；但工艺复杂，生产周期长，强度及耐磨性较差。适用于制造厚度在 15mm 以下的薄壁铸件和焊接后不需进行热处理的铸件。在机械制造工业中很少应用这类铸铁

1.2.6 抗磨铸铁

抗磨铸铁用于磨损工况。抗磨铸铁有抗磨白口铸铁、抗磨球墨铸铁等，典型的抗磨铸铁件有球磨机磨球、球磨机衬板、渣浆泵泵壳与叶轮等。

1. 抗磨白口铸铁

（1）抗磨白口铸铁的牌号及化学成分（见表 1-58）

表 1-58　抗磨白口铸铁的牌号及化学成分（GB/T 8263—2010）

牌　号	化学成分(质量分数,%)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	S	P
BTMNi4Cr2-DT	2.4~3.0	≤0.8	≤2.0	1.5~3.0	≤1.0	3.3~5.0	—	≤0.10	≤0.10
BTMNi4Cr2-GT	3.0~3.6	≤0.8	≤2.0	1.5~3.0	≤1.0	3.3~5.0	—	≤0.10	≤0.10
BTMCr9Ni5	2.5~3.6	1.5~2.2	≤2.0	8.0~10.0	≤1.0	4.5~7.0	—	≤0.06	≤0.06
BTMCr2	2.1~3.6	≤1.5	≤2.0	1.0~3.0	—	—	—	≤0.10	≤0.10
BTMCr8	2.1~3.6	1.5~2.2	≤2.0	7.0~10.0	≤3.0	≤1.0	≤1.2	≤0.06	≤0.06
BTMCr12-DT	1.1~2.0	≤1.5	≤2.0	11.0~14.0	≤3.0	≤2.5	≤1.2	≤0.06	≤0.06
BTMCr12-GT	2.0~3.6	≤1.5	≤2.0	11.0~14.0	≤3.0	≤2.5	≤1.2	≤0.06	≤0.06
BTMCr15	2.0~3.6	≤1.2	≤2.0	14.0~18.0	≤3.0	≤2.5	≤1.2	≤0.06	≤0.06
BTMCr20	2.0~3.3	≤1.2	≤2.0	18.0~23.0	≤3.0	≤2.5	≤1.2	≤0.06	≤0.06
BTMCr26	2.0~3.3	≤1.2	≤2.0	23.0~30.0	≤3.0	≤2.5	≤1.2	≤0.06	≤0.06

注：1. 牌号中，“DT”和“GT”分别是“低碳”和“高碳”的汉语拼音大写字母，表示该牌号含碳量的高低。
2. 允许加入微量 V、Ti、Nb、B 和 RE 等元素。

（2）抗磨白口铸铁的硬度（见表 1-59）

表 1-59　抗磨白口铸铁的硬度（GB/T 8263—2010）

牌　　号	表 面 硬 度					
	铸态或铸态去应力处理		硬化态或硬化态去应力处理		软化退火态	
	HRC	HBW	HRC	HBW	HRC	HBW
BTMNi4Cr2-DT	≥53	≥550	≥56	≥600	—	—
BTMNi4Cr2-GT	≥53	≥550	≥56	≥600	—	—
BTMCr9Ni5	≥50	≥500	≥56	≥600	—	—
BTMCr2	≥45	≥435	—	—	—	—
BTMCr8	≥46	≥450	≥56	≥600	≤41	≤400
BTMCr12-DT	—	—	≥50	≥500	≤41	≤400
BTMCr12-GT	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400
BTMCr15	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400
BTMCr20	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400
BTMCr26	≥46	≥450	≥58	≥650	≤41	≤400

注：1. 洛氏硬度值（HRC）和布氏硬度值（HBW）之间没有精确的对应值，因此，这两种硬度值应独立使用。
2. 铸件断面深度 40% 处的硬度应不低于表面硬度值的 92%。

（3）抗磨白口铸铁的金相组织（见表 1-60）

表1-60 抗磨白口铸铁的金相组织（GB/T 8263—2010）

牌号	金相组织	
	铸态或铸态去应力处理	硬化态或硬化态去应力处理
BTMNi4Cr2-DT	共晶碳化物 M_3C + 马氏体 + 贝氏体 + 奥氏体	共晶碳化物 M_3C + 马氏体 + 贝氏体 + 残留奥氏体
BTMNi4Cr2-GT		
BTMCr9Ni5	共晶碳化物（M_7C_3 + 少量 M_3C）+ 马氏体 + 奥氏体	共晶碳化物（M_7C_3 + 少量 M_3C）+ 二次碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体
BTMCr2	共晶碳化物 M_3C + 珠光体	—
BTMCr8	共晶碳化物（M_7C_3 + 少量 M_3C）+ 细珠光体	共晶碳化物（M_7C_3 + 少量 M_3C）+ 二次碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体
BTMCr12-DT	—	碳化物 + 马氏体 + 残留奥氏体
BTMCr12-GT	碳化物 + 奥氏体及其转变产物	
BTMCr15		
BTMCr20		
BTMCr26		

注：金相组织中 M 代表 Fe、Cr 等金属原子，C 代表碳原子。

2. 抗磨球墨铸铁

抗磨球墨铸铁是指以马氏体、贝氏体为主要基体的高硬度球墨铸铁。

（1）马氏体抗磨球墨铸铁　其化学成分见表1-61。马氏体抗磨球墨铸铁经过淬火 + 低温回火处理，金相组织为马氏体 + 球状石墨 + 残留奥氏体，硬度≥52HRC，冲击韧度（冲击试样尺寸为10mm×10mm×55mm）≥8J/cm^2。

表1-61 马氏体抗磨球墨铸铁的化学成分

化学成分	C	Si	Mn	S	P	Mg残	RE残
质量分数(%)	3.4~3.9	2.2~2.5	0.8~1.2	≤0.03	≤0.15	0.03~0.05	0.03~0.04

（2）贝氏体抗磨球墨铸铁　其化学成分见表1-62。贝氏体抗磨球墨铸铁经过淬火 + 回火处理，金相组织为贝氏体 + 马氏体 + 残留奥氏体 + 球状石墨，硬度≥50HRC，冲击韧度（冲击试样尺寸为20mm×20mm×110mm）≥10J/cm^2。

表1-62 贝氏体抗磨球墨铸铁的化学成分

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Mg	RE	B
质量分数(%)	3.4~3.8	2.5~3.5	2.0~3.5	≤0.1	≤0.05	0.03~0.05	0.03~0.05	适量

3. 耐磨损复合材料铸件

（1）牌号与化学成分。耐磨复合材料铸件按组分分为4个牌号。耐磨复合材料铸件的代号为ZF，ZF后面附加“-”和“阿拉伯数字”表示耐磨损复合材料铸件牌号。

耐磨损复合材料铸件中的抗磨白口铸铁化学成分应符合 GB/T 8263—2010 的规定。奥氏体锰钢化学成分应符合 GB/T 5680—2010 的规定。其他合金耐磨钢化学成分应符合 GB/T 26651—2011 的规定。复合材料铸件中其他种类铸钢和铸铁的化学成分是否作为产品验收依据，由供需双方商定。

（2）耐磨损复合材料铸件的组成及硬度（见表 1-63）。

表 1-63　耐磨损复合材料铸件的组成及硬度（GB/T 26652—2011）

名　　称	牌号	复合材料组成	铸件耐磨损增强体材料	铸件耐磨损增强体硬度	
				HRC	HRA
镶铸合金复合材料Ⅰ铸件	ZF-1	硬质合金块/铸钢或铸铁	硬质合金	≥56（硬质合金）	≥79（硬质合金）
镶铸合金复合材料Ⅱ铸件	ZF-2	抗磨白口铸铁块/铸钢或铸件	抗磨白口铸件	≥56（抗磨白口铸铁）	—
双液铸造双金属复合材料铸件	ZF-3	抗磨白口铸铁层/铸钢或铸件层	抗磨白口铸铁	≥56（抗磨白口铸铁）	—
铸渗合金复合材料铸件	ZF-4	硬质相颗粒/铸钢或铸铁	硬质合金	≥62（硬质合金）	≥82（硬质合金）
			抗磨白口铸铁	≥56（抗磨白口铸铁）	—
			WC 和（或）TiC 等金属陶瓷	≥62［WC 和（或）TiC 等金属陶瓷］	≥82［WC 和（或）TiC 等金属陶瓷］

注：表中洛氏硬度 HRC 和 HRA 中，任选一项。

4. 铸造磨球

铸造磨球适用于冶金、电力、建材和化工等行业，用以粉碎和研磨矿石、煤和水泥等相关物料的铬合金铸铁磨球和球墨铸铁磨球。铸造磨球牌号、化学成分和表面硬度见表 1-64。

表 1-64　铸造磨球的牌号、化学成分和表面硬度（GB/T 17445—2009）

名称	牌号	化学成分（质量分数，%）									表面硬度HRC
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ni	P≤	S≤	
高铬合金铸铁磨球	ZQCr26	2.0～3.3	≤1.2	0.3～1.5	>23～30	0～3.0	0～1.2	0～1.5	0.10	0.06	≥58
	ZQCr20	2.0～3.3	≤1.2	0.3～1.5	>18～23	0～3.0	0～1.2	0～1.5	0.10	0.06	
	ZQCr15	2.0～3.3	≤1.2	0.3～1.5	>14～18	0～3.0	0～1.2	0～1.5	0.10	0.06	
	ZQCr12	2.0～3.3	≤1.2	0.3～1.5	>10～14	0～3.0	0～1.2	0～1.5	0.10	0.06	

（续）

名称	牌号	化学成分(质量分数,%)									表面硬度HRC
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ni	P≤	S≤	
中铬合金铸铁磨球	ZQCr8	2.1～3.3	≤2.2	0.3～1.5	7～10	0～1.0	0～0.8	—	0.10	0.06	≥48
	ZQCr5	2.1～3.3	≤1.5	0.3～1.5	4～6	0～1.0	0～0.8	—	0.10	0.10	≥47
低铬合金铸铁磨球	ZQCr2	2.1～3.6	≤1.5	0.3～1.5	1～3	0～1.0	0～0.8	—	0.10	0.10	≥45
贝氏体球墨铸铁磨球	ZQQTB	3.2～3.8	2.0～3.5	2.0～3.0	—	—	—	—	0.10	0.03	≥50
马氏体球墨铸铁磨球	ZQQTM	3.2～3.8	2.0～3.5	0.5～1.5	—	—	—	—	0.10	0.03	≥52

1.2.7 冷硬铸铁

冷硬铸铁是通过激冷的工艺方法，使铸件激冷层中的碳保持化合碳的形式，而形成白口或麻口的铸铁。冷硬铸铁具有内韧外硬的结构特点，主要用于以磨损为主的工况。最常用的是冷硬铸铁轧辊，其特点是外层呈白口组织，内层呈灰口组织，在白口层和灰口层之间是一层麻口过渡层。因而冷硬轧辊表面硬度很高，具有高的抗磨能力，又能承受一定的工作压力。

1. 一般冷硬铸铁件

一般冷硬铸铁件化学成分及用途见表1-65。

表1-65 一般冷硬铸铁件化学成分及用途

序号	化学成分(质量分数,%)					用途
	C	Si	Mn	S	P	
1	3.49	0.84	0.70	0.134	0.069	冷硬车轮
2	3.80	0.79	0.59	0.16	0.079	
3	>3.25	0.45 0.75	0.50 0.75	<0.4	<0.14	
4	3.5	1.0	0.6	0.3	0.06	犁铧
5	3.5	1.0	1.0	0.2	0.04	破碎机用冷硬衬板
	3.25	0.8	1.25	0.2	0.06	

2. 冶金冷硬铸铁轧辊

冶金冷硬铸铁轧辊的化学成分、性能和用途见表1-66。

表 1-66　冶金冷硬铸铁轧辊的化学成分、性能和用途（GB/T 1504—2008）

分类	材质类别	材质代码	化学成分(质量分数,%)											硬度 HS		抗拉强度/MPa	推荐用途
			C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Mg≥	辊身	辊颈		
冷硬铸铁	铬钼冷硬	CC	2.9~3.6	0.25~0.80	0.2~1.0	0.40	0.08	0.20~0.60	—	0.20~0.60	—	—	—	58~70	32~48	≥150	小型型钢、线材、热轧薄版平整轧机
	镍铬钼冷硬Ⅰ	CCⅠ	2.9~3.6	0.25~0.80	0.2~1.0	0.40	0.08	0.20~0.60	0.5~1.0	0.20~0.60	—	—	—	60~70	32~50		
	镍铬钼冷硬Ⅱ	CCⅡ	2.9~3.6	0.25~0.80	0.2~1.0	0.40	0.08	0.3~1.2	1.01~2.0	0.20~0.60	—	—	—	62~75	35~52		
	镍铬钼冷硬离心复合Ⅲ	CCⅢ	2.9~3.6	0.25~0.80	0.2~1.0	0.40	0.08	0.5~1.5	2.01~3.0	0.20~0.60	—	—	—	65~80	32~45	≥350	
	镍铬钼冷硬离心复合Ⅳ	CCⅣ	2.9~3.6	0.25~0.80	0.2~1.0	0.40	0.08	0.5~1.7	3.01~4.5	0.20~0.60	—	—	—	70~85	32~45		
无限冷硬铸铁	铬钼无限冷硬	IC	2.9~3.6	0.6~1.2	0.4~1.2	0.25	0.08	0.6~1.2	—	0.20~0.60	—	—	—	50~70	35~55	≥160	小型型钢、窄带钢轧机
	铬镍钼无限冷硬Ⅰ	ICⅠ	2.9~3.6	0.6~1.2	0.4~1.2	0.25	0.08	0.7~1.2	0.5~1.0	0.20~0.60	—	—	—	55~72	35~55		
	铬镍钼无限冷硬Ⅱ	ICⅡ	2.9~3.6	0.6~1.2	0.4~1.2	0.25	0.08	0.7~1.2	1.01~2.0	0.20~0.60	—	—	—	55~72	35~55		
	铬镍钼无限冷硬离心复合Ⅲ	ICⅢ	2.9~3.6	0.6~1.2	0.4~1.2	0.25	0.05	0.7~1.2	2.01~3.0	0.2~1.0	—	—	—	65~78	32~45	≥350	
	高铬镍钼无限冷硬离心复合Ⅳ	ICⅣ	2.9~3.6	0.6~1.5	0.4~1.2	0.10	0.05	1.0~2.0	3.01~4.8	0.2~1.0	—	—	—	70~83	32~45		中厚板、平整、热带钢轧机
	高铬镍钼无限冷硬离心复合Ⅴ	ICⅤ	2.9~3.6	0.6~1.5	0.4~1.2	0.10	0.05	1.0~2.0	3.01~4.8	0.2~2.0	0.2~2.0	W：0~2.0	Nb：0~2.0	77~85	32~45		

（续）

分类	材质类别	材质代码	化学成分（质量分数，%）											硬度 HS		抗拉强度/MPa	推荐用途
			C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Mg≥	辊身	辊颈		
球墨铸铁	铬钼球墨半冷硬	SGⅠ	2.9~3.6	0.8~2.5	0.4~1.2	0.25	0.03	0.2~0.6	—	0.2~0.6	—	—	0.04	40~55	32~50	≥320	型钢轧机
	铬钼球墨无限冷硬	SGⅡ	2.9~3.6	0.8~2.5	0.4~1.2	0.25	0.03	0.2~0.6	—	0.2~0.6	—	—	0.04	50~70	35~55		线材、型钢、窄带钢轧机
	铬钼铜球墨无限冷硬	SGⅢ	2.9~3.6	0.8~2.5	0.4~1.2	≤0.25	≤0.03	0.2~0.6	—	0.2~0.6	—	0.4~1.0	0.04	55~70	35~55		
	镍铬钼球墨无限冷硬Ⅰ	SGⅣ	2.9~3.6	0.8~2.5	0.4~1.2	≤0.25	≤0.03	0.2~0.6	0.5~1.0	0.2~0.8	—	—	0.04	55~70	35~55		
	镍铬钼球墨无限冷硬Ⅱ	SGⅤ	2.9~3.6	0.8~2.5	0.4~1.2	0.20	0.03	0.3~1.2	1.01~2.0	0.2~0.8	—	—	0.04	60~70	35~55		
	珠光体球墨Ⅰ	SGPⅠ	2.9~3.6	1.4~2.2	0.4~1.0	0.15	0.03	0.1~0.6	1.5~2.0	0.2~0.8	—	—	0.04	40~55	35~55	≥450	方/板坯初轧机，大中型型钢、线材、窄带钢轧机
	珠光体球墨Ⅱ	SGPⅡ	2.9~3.6	1.2~2.0	0.4~1.0	0.15	0.03	0.2~1.0	2.01~2.5	0.2~0.8	—	—	0.04	55~65	35~55		
	珠光体球墨Ⅲ	SGPⅢ	2.9~3.6	1.0~2.0	0.4~1.0	0.15	0.03	0.2~1.2	2.51~3.0	0.2~0.8	—	—	0.04	62~72	35~55		
	贝氏体球墨离心复合Ⅰ	SGAⅠ	2.9~3.6	1.2~2.2	0.2~0.8	0.10	0.03	0.2~1.0	3.01~3.5	0.5~1.0	—	—	0.04	55~78	32~45	≥350	
	贝氏体球墨离心复合Ⅱ	SGAⅡ	2.9~3.6	1.2~2.2	0.2~0.8	0.10	0.03	0.3~1.5	3.51~4.5	0.5~1.0	—	—	0.04	60~80	32~45		
高铬铸铁	高铬离心复合Ⅰ	HCrⅠ	2.3~3.3	0.3~1.0	0.5~1.2	0.10	0.05	12.0~15.0	0.7~1.7	0.7~1.5	0~0.6	—	—	60~75	32~45	≥350	热带钢、立辊、平整、中厚板轧机，冷带钢轧机，型钢万能轧机辊环
	高铬离心复合Ⅱ	HCrⅡ	2.3~3.3	0.3~1.0	0.5~1.2	0.10	0.05	15.01~18.0	0.7~1.7	0.7~1.5	0~0.6	—	—	65~80	32~45		
	高铬离心复合Ⅲ	HCrⅢ	2.3~3.3	0.3~1.0	0.5~1.2	0.10	0.05	18.01~22.0	0.7~1.7	1.51~3.0	0~0.6	—	—	75~90	32~45		

注：1. 球墨铸铁轧辊中含有稀土元素时，残 Mg 质量分数不得小于 0.03%。
2. 在满足轧机使用条件下，复合轧辊或辊环心部可采用球墨铸铁材质。

3. 非冶金用冷硬铸铁轧辊

（1）非冶金用冷硬铸铁轧辊的化学成分（见表1-67）

表1-67　非冶金用冷硬铸铁轧辊的化学成分

序号	名　　称	化学成分(质量分数,%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
1	普通冷硬铸铁	3.3～3.8	0.4～0.8	0.3～0.5	0.45～0.55	≤0.12	—	—	—
2	铬钼合金铸铁	3.3～3.8	0.4～0.8	0.3～0.5	≤0.55	≤0.12	0.2～0.3	—	0.2～0.4
3	镍铬合金铸铁	3.3～3.8	0.4～0.8	0.3～0.5	≤0.55	≤0.12	0.2～0.3	0.4～0.8	—
4	镍铬钼铸铁	3.5～3.8	0.3～0.8	0.3～0.6	0.40～0.55	≤0.12	0.2～0.5	0.5～1.5	0.2～0.4
5	铬铜铸铁	3.1～3.7	0.4～0.8	0.3～0.45	0.45～0.60	≤0.12	0.3～0.5	Cu:0.8～1.0	
6	铬钒铸铁	3.5～3.8	0.7～0.9	0.5～0.6	0.4～0.5	≤0.12	0.6～0.8	V:0.1～0.2	

（2）非冶金用冷硬铸铁轧辊的硬度和用途（见表1-68）

表1-68　非冶金用冷硬铸铁轧辊的硬度和用途

序号	名　　称	白口深度/mm	硬度 HS		用　　途
			辊面	辊颈	
1	普通冷硬铸铁	5～40	63～72	≤48	橡胶、塑料轧辊
2	铬钼合金铸铁	6～25	≥68	≤48	橡胶、塑料、油墨、烟草轧辊
3	镍铬合金铸铁	6～25	≥68	≤48	橡胶、塑料轧辊
4	镍铬钼铸铁	20～50	68～74	≤50	面粉、油脂、造纸
5	铬铜铸铁	10～40	≥70	—	造纸
6	铬钒铸铁	0.1D(辊颈)	68～72	—	面粉

1.2.8　耐热铸铁

1. 耐热铸铁的牌号及化学成分（见表1-69）

表1-69 耐热铸铁的牌号及化学成分（GB/T 9437—2009）

牌号	化学成分(质量分数,%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
			≤				
HTRCr	3.0~3.8	1.5~2.5	1.0	0.10	0.08	0.50~1.00	—
HTRCr2	3.0~3.8	2.0~3.0	1.0	0.10	0.08	1.00~2.00	—
HTRCr16	1.6~2.4	1.5~2.2	1.0	0.10	0.05	15.00~18.00	—
HTRSi5	2.4~3.2	4.5~5.5	0.8	0.10	0.08	0.5~1.00	—
QTRSi4	2.4~3.2	3.5~4.5	0.7	0.07	0.015	—	—
QTRSi4Mo	2.7~3.5	3.5~4.5	0.5	0.07	0.015	Mo:0.5~0.9	—
QTRSi4Mo1	2.7~3.5	4.0~4.5	0.3	0.05	0.015	Mo:1.0~1.5	Mg:0.01~0.05
QTRSi5	2.4~3.2	4.5~5.5	0.7	0.07	0.015	—	—
QTRAl4Si4	2.5~3.0	3.5~4.5	0.5	0.07	0.015	—	4.0~5.0
QTRAl5Si5	2.3~2.8	4.5~5.2	0.5	0.07	0.015	—	5.0~5.8
QTRAl22	1.6~2.2	1.0~2.0	0.7	0.07	0.015	—	20.0~24.0

2. 耐热铸铁的室温力学性能（见表1-70）

表1-70 耐热铸铁的室温力学性能（GB/T 9437—2009）

牌号	最小抗拉强度 R_m/MPa	硬度 HBW	牌号	最小抗拉强度 R_m/MPa	硬度 HBW
HTRCr	200	189~288	QTRSi4Mo1	550	200~240
HTRCr2	150	207~288	QTRSi5	370	228~302
HTRCr16	340	400~450	QTRAl4Si4	250	285~341
HTRSi5	140	160~270	QTRAl5Si5	200	302~363
QTRSi4	420	143~187	QTRAl22	300	241~364
QTRSi4Mo	520	188~241			

注：允许用热处理方法达到上述性能。

3. 耐热铸铁的使用条件及应用案例（见表1-71）

表1-71 耐热铸铁的使用条件及应用举例

牌号	使用条件	应用举例
HTRCr	在空气炉气中,耐热温度到550℃。具有高的抗氧化性和体积稳定性	适用于急冷急热的,薄壁,细长件。用于炉条、高炉支梁式水箱、金属型、玻璃模等
HTRCr2	在空气炉气中,耐热温度到600℃。具有高的抗氧化性和体积稳定性	适用于急冷急热的,薄壁,细长件。用于煤气炉内灰盆、矿山烧结车挡板等
HTRCr16	在空气炉气中耐热温度到900℃。具有高的室温及高温强度,高的抗氧化性,但常温脆性较大。耐硝酸的腐蚀	可在室温及高温下作抗磨件使用。用于退火罐、煤粉烧嘴、炉栅、水泥焙烧炉零件、化工机械等零件

（续）

牌　　号	使用条件	应用举例
HTRSi5	在空气炉气中，耐热温度到700℃。耐热性较好，承受机械和热冲击能力较差	用于炉条、煤粉烧嘴、锅炉用梳形定位板、换热器针状管、二硫化碳反应瓶等
QTRSi4	在空气炉气中耐热温度到650℃。力学性能抗裂性较RQTSi5好	用于玻璃窑烟道闸门、玻璃引上机墙板、加热炉两端管架等
QTRSi4Mo	在空气炉气中耐热温度到680℃。高温力学性能较好	用于内燃机排气歧管、罩式退火炉导向器、烧结机中后热筛板、加热炉吊梁等
QTRSi4Mo1	在空气炉气中耐热温度到800℃。高温力学性能好	用于内燃机排气歧管、罩式退火炉导向器、烧结机中后热筛板、加热炉吊梁等
QTRSi5	在空气炉气中耐热温度到800℃。常温及高温性能显著优于RTSi5	用于煤粉烧嘴、炉条、辐射管、烟道闸门、加热炉中间管架等
QTRAl4Si4	在空气炉气中耐热温度到900℃。耐热性良好	适用于高温轻载荷下工作的耐热件。用于烧结机箅条、炉用件等
QTRAl5Si5	在空气炉气中耐热温度到1050℃。耐热性良好	
QTRAl22	在空气炉气中耐热温度到1100℃。具有优良的抗氧化能力，较高的室温和高温强度，韧性好，抗高温硫蚀性好	适用于高温（1100℃）、载荷较小、温度变化较缓的工件。用于锅炉用侧密封块、链式加热炉炉爪、黄铁矿焙烧炉零件等

1.2.9　高硅耐蚀铸铁

1. 高硅耐蚀铸铁的牌号及化学成分（见表1-72）

表1-72　高硅耐蚀铸铁的牌号及化学成分（GB/T 8491—2009）

牌　　号	化学成分（质量分数，%）								
	C	Si	Mn≤	P≤	S≤	Cr	Mo	Cu	R残留量≤
HTSSi11Cu2CrR	≤1.20	10.00～12.00	0.50	0.10	0.10	0.60～0.80	—	1.80～2.20	0.10
HTSSi15R	0.65～1.10	14.20～14.75	1.50	0.10	0.10	≤0.50	≤0.50	≤0.50	0.10
HTSSi15Cr4MoR	0.75～1.15	14.20～14.75	1.50	0.10	0.10	3.25～5.00	0.40～0.60	≤0.50	0.10
HTSSi15Cr4R	0.70～1.10	14.20～14.75	1.50	0.10	0.10	3.25～5.00	≤0.20	≤0.50	0.10

注：本标准的所有牌号都适用于腐蚀的工况条件，HTSSi15Cr4MoR尤其适用于强氯化物的工况条件，HTSSi15Cr4R适用于阳极电板。

2. 高硅耐蚀铸铁的力学性能（见表1-73）

表1-73 高硅耐蚀铸铁的力学性能

牌号	最小抗弯强度/MPa	最小挠度/mm
HTSSi11Cu2CrR	190	0.80
HTSSi15R	118	0.66
HTSSi15Cr4MoR	118	0.66
HTSSi15Cr4R	118	0.66

3. 高硅耐蚀铸铁的性能、适用条件及应用举例（见表1-74）

表1-74 高硅耐蚀铸铁的性能、适用条件及应用举例

牌号	性能和适用条件	应用举例
HTSSi11Cu2CrR	具有较好的力学性能，可以用一般的机械加工方法进行生产。在质量分数大于或等于10%的硫酸、质量分数小于或等于46%的硝酸或由上述两种介质组成的混合酸、质量分数大于或等于70%的硫酸加氯、苯、苯磺酸等介质中具有较稳定的耐蚀性，但不允许有急剧的交变载荷、冲击载荷和温度突变	卧式离心机、潜水泵、阀门、旋塞、塔罐、冷却排水管、弯头等化工设备和零部件等
HTSSi15R	在氧化性酸（例如：各种温度和浓度的硝酸、硫酸、铬酸等）各种有机酸和一系列盐溶液介质中都有良好的耐蚀性，但在卤素的酸、盐溶液（如氢氟酸和氯化物等）和强碱溶液中不耐蚀。不允许有急剧的交变载荷、冲击载荷和温度突变	各种离心泵、阀类、旋塞、管道配件、塔罐、低压容器及各种非标准零部件等
HTSSi15Cr4R	具有优良的耐电化学腐蚀性能，并有改善抗氧化性条件的耐蚀性。高硅铬铸铁中和铬可提高其钝化性和点蚀击穿电位，但不允许有急剧的交变载荷和温度突变	在外加电流的阴极保护系统中，大量用作辅助阳极铸件
HTSSi15Cr4MoR	适用于强氯化物的环境	

1.3 铸造非铁合金

铸造非铁合金有铸造铝合金、铸造镁合金、铸造钛合金、铸造铜合金、铸造锌合金、铸造轴承合金、铸造高温合金等。

1.3.1 铸造铝合金

铸造铝合金具有密度小、比强度高、导热性好、耐蚀性好等许多特殊性能，是我

国航空工业、机械制造、电器工业、铁路运输及日用工业生产不可缺少的重要铸造合金材料。

铸造铝合金分四类：铝硅系合金、铝铜系合金、铝镁系合金和铝锌系合金。铸造铝合金铸造方法和变质处理的代号见表1-75。

表1-75　铝合金铸造方法和变质处理的代号（GB/T 1173—1995）

代　　号	S	J	R	K	B
意义	砂型铸造	金属型铸造	熔模铸造	壳型铸造	经变质处理

1. Al-Si 合金

Al-Si合金的牌号及主要化学成分见表1-76。

表1-76　Al-Si合金的牌号及主要化学成分（GB/T 1173—1995）

合金牌号	合金代号	主要元素（质量分数，%）						
		Si	Cu	Mg	Mn	Ti	其他	Al
ZAlSi7Mg	ZL101	6.5~7.5	—	0.25~0.45	—	—	—	余量
ZAlSi7MgA	ZL101A	6.5~7.5	—	0.25~0.45	—	0.08~0.20	—	余量
ZAlSi12	ZL102	10~13	—	—	—	—	—	余量
ZAlSi9Mg	ZL104	8~10.5	—	0.17~0.35	0.2~0.5	—	—	余量
ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	4.5~5.5	1.0~1.5	0.4~0.6	—	—	—	余量
ZAlSi5Cu1MgA	ZL105A	4.5~5.5	1.0~1.5	0.4~0.55	—	—	—	余量
ZAlSi8Cu1Mg	ZL106	7.5~8.5	1.0~1.5	0.3~0.5	0.3~0.5	0.1~0.25	—	余量
ZAlSi7Cu4	ZL107	6.5~7.5	3.5~4.5	—	—	—	—	余量
ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	11~13	1~2	0.4~1.0	0.3~0.9	—	—	余量
ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	11~13	0.5~1.5	0.8~1.3	—	—	Ni:0.8~1.5	余量
ZAlSi5Cu6Mg	ZL110	4~6	5~8	0.2~0.5	—	—	—	余量
ZAlSi9Cu2Mg	ZL111	8~10	1.3~1.8	0.4~0.6	0.1~0.35	0.1~0.35	—	余量
ZAlSi7Mg1A	ZL114A	6.5~7.5	—	0.45~0.6	—	0.1~0.2	Be:0.04~0.07①	余量
ZAlSi5Zn1Mg	ZL115	4.8~6.2	—	0.4~0.65	—	Zn:1.2~1.8	Sb:0.1~0.25	余量
ZAlSi8MgBe	ZL116	6.5~8.5	—	0.35~0.55	—	0.1~0.3	Be:0.15~0.4	余量

①　在保证合金力学性能的前提下，可以不加Be。

2. Al-Cu 合金

Al-Cu 合金的牌号及主要化学成分见表 1-77。

表 1-77 Al-Cu 合金的牌号及主要化学成分（GB/T 1173—1995）

合金牌号	合金代号	主要元素（质量分数，%）					
		Cu	Mg	Mn	Ti	其他	Al
ZAlCu5Mn	ZL201	4.5～5.3	—	0.6～1.0	0.15～0.35	—	余量
ZAlCu5MnA	ZL201A	4.8～5.3	—	0.6～1.0	0.15～0.35	—	余量
ZAlCu4	ZL203	4.0～5.0	—	—	—	—	余量
ZAlCu5MnCdA	ZL204A	4.6～5.3	—	0.6～0.9	0.15～0.35	Cd:0.15～0.25	余量
ZAlCu5MnCdVA	ZL205A	4.6～5.3	—	0.3～0.5	0.15～0.35	Cd:0.15～0.25 V:0.05～0.3 Zr:0.05～0.2 B:0.005～0.06	余量
ZAlRE5Cu3Si2	ZL207	3.0～4.0	0.15～0.25	0.9～1.2	—	Ni:0.2～0.3 Zr:0.15～0.25 Si:1.6～2.0 RE:4.4～5.0①	余量

① 混合稀土中含各种稀土总量不小于 98%（质量分数），其中含铈（Ce）约 45%（质量分数）。

3. Al-Mg 合金

Al-Mg 合金的牌号及主要化学成分见表 1-78。

表 1-78 Al-Mg 合金的牌号及主要化学成分（GB/T 1173—1995）

合金牌号	合金代号	主要元素（质量分数，%）					
		Si	Mg	Zn	Mn	Ti	其他	Al
ZAlMg10	ZL301	—	9.5～11.0	—	—	—	—	余量
ZAlMg5Si	ZL303	0.8～1.3	4.5～5.5	—	0.1～0.4	—	—	余量
ZAlMg8Zn1	ZL305	—	7.5～9.0	1.0～1.5	—	0.1～0.2	Be:0.03～0.1	余量

4. Al-Zn 合金

Al-Zn 合金的牌号及主要化学成分见表 1-79。

表 1-79 Al-Zn 合金的牌号及化学成分（GB/T 1173—1995）

合金牌号	合金代号	主要元素（质量分数，%）					
		Si	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
ZAlZn11Si7	ZL401	6.0～8.0	0.1～0.3	9～13	—	—	余量
ZAlZn6Mg	ZL402	—	0.5～0.65	5～6.5	0.15～0.25	0.4～0.6	余量

1.3.2 铸造镁合金

在现有工程用金属材料中，镁合金的密度最小（1.75～1.85kg/m^3，约为铝的

64%，钢的23%），比强度和疲劳强度比铸造铝合金高，故采用镁合金铸件可以减轻机器结构的重量，从而提高效率，降低能耗，增大发动机功率以及运输机械的载重量和速度。铸造镁合金在铸造工艺方面可采用砂型铸造，此外，几乎所有特种铸造工艺都可以铸造，广泛应用于航空航天工业，大量用于汽车、摩托车、电子、纺织、电影、林业、采矿等机械中和制造某些日常生活用品。

铸造镁合金分三类：镁-铝系合金、镁-锌-锆系合金和镁-稀土金属-锆系合金。

1. 镁-铝系合金

镁-铝系合金的牌号及化学成分见表1-80。

表1-80　镁-铝系合金的牌号及化学成分（GB/T 1177—1991）

合金牌号	合金代号	化学成分①（质量分数,%）							
		Al	Zn	Mn	Si	Cu	Fe	Ni	杂质总量
ZMgAl8Zn	ZM5	7.5～9.0	0.2～0.8	0.15～0.5	0.30	0.20	0.05	0.01	0.50
ZMgAl10Zn	ZM10	9.0～10.2	0.6～1.2	0.1～0.5	0.30	0.20	0.05	0.01	0.50

注：ZM5和ZM10有良好的流动性，合金凝固时形成显微疏松的倾向较大，铸件的气密性较差。为了提高铸件的气密性，可以采用浸渗处理。

① 可加入铍，但铍的质量分数不大于0.002%。

2. 镁-锌-锆系合金

镁-锌-锆系合金的牌号及化学成分见表1-81。

表1-81　镁-锌-锆系合金的牌号及化学成分（GB/T 1177—1991）

合金牌号	合金代号	化学成分①（质量分数,%）						
		Zn	RE②	Zr	Ag	Cu	Ni	杂质总量≤
ZMgZn5Zr	ZM1	3.5～5.5	—	0.5～1.0	—	0.1	0.01	0.3
ZMg4RE1Zr	ZM2	3.5～5.0	0.75～1.75	0.5～1.0	—	0.1	0.01	0.3
ZMgZn8AgZr	ZM7	7.5～9.0	—	0.5～1.0	0.6～1.2	0.1	0.01	0.3

① 可加入铍，但铍的质量分数不大于0.002%。

② RE为铈的质量分数不小于45%的铈混合稀土金属。

3. 镁-稀土金属-锆系合金

镁-稀土金属-锆系合金的牌号及化学成分见表1-82。

表1-82　镁-稀土金属-锆系合金的牌号及化学成分（GB/T 1177—1991）

合金牌号	合金代号	化学成分①（质量分数,%）					
		RE	Zn	Zr	Cu≤	Ni≤	杂质总量≤
ZMgRE3ZnZr	ZM3	2.5～4.0②	0.2～0.7	0.4～1.0	0.1	0.01	0.3
ZMgRE3Zn2Zr	ZM4	2.5～4.0②	2.0～3.0	0.5～1.0	0.1	0.01	0.3
ZMgRE2ZnZr	ZM6	2.0～2.8③	0.2～0.7	0.4～1.0	0.1	0.01	0.3

① 可加入铍，但铍的质量分数不大于0.002%。

② RE为铈的质量分数不小于45%的铈混合稀土金属。其中稀土金属总量不小于98%。

③ 含钕的质量分数不小于85%的钕混合稀土金属，其中钕+镨的质量分数不小于95%。

1.3.3 铸造铜合金

铸造铜合金包括铸造纯铜、铸造青铜、铸造黄铜、铸造白铜等。

1. 铸造纯铜（包括高铜合金）

（1）铸造纯铜的牌号及化学成分（见表1-83）

表1-83 铸造纯铜的牌号及化学成分（质量分数） （%）

序号	牌号	主要元素						杂质≤		
		Cu	P	Fe	Zn	Sn	Mg	P	Sn	其他
1	ZCu99.7	99.7	—	—	—	—	—	0.03	0.09	0.15
2	ZCu99.5	99.5	—	—	—	—	—	0.05	0.3	0.15
3	ZCuFe0.1P0.03	余量	0.025~0.04	0.05~0.15	—	—	—	—	—	0.15
4	ZCuSn0.15Y0.5	余量	—	—	—	0.1~0.2	Y：0.3~0.6	—	—	0.15
5	ZCuZn0.2Mg0.1	余量	—	—	0.1~0.2	—	0.05~0.15	—	—	0.15
6	ZCuFe1P0.3Zn0.3	余量	0.2~0.4	0.8~1.2	0.2~0.4	—	—	—	—	0.15

（2）铸造性能 纯铜的流动性好、凝固区间小，但凝固时收缩率大，故要用足够的冒口补缩。纯铜的氧化倾向大，在熔炼过程中易被氧化，加之凝固时收缩较大，故容易产生夹渣、缩松和裂纹等铸造缺陷。纯铜熔点高，熔化时极易吸气，熔炼时应采取良好的保护措施，浇注前要进行脱氧处理。根据铸件壁厚的不同，浇注温度1150（大于50mm）~1250℃（小于12mm）。

纯铜可以用各种方法进行铸造，包括砂型、金属型、离心铸造、连续铸造、熔模和石膏模铸造，但不适于压力铸造。

（3）纯铜的应用 纯铜包括高铜合金。纯铜具有很高的导电、传热性能，优良的耐蚀性和良好的力学性能。高铜合金是在纯铜基础上添加微量元素（P、Sn、Zn、Mg、Fe、B、RE等）以改善其熔铸工艺性、耐热性和抗氧化性能。因此，纯铜常用于制造导电环、导电颚板、电极夹持器、集电器、接线金具、氧枪喷嘴、高炉风口和渣口等导电、导热铸件。

2. 铸造青铜

（1）铸造锡青铜

1）铸造锡青铜的牌号及主要化学成分见表1-84。

表 1-84　铸造锡青铜的牌号及主要化学成分（GB/T 1176—1987）

序号	合金牌号	合金名称	主要元素（质量分数，%）					
			Sn	Zn	Pb	P	Ni	Cu
1	ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	3-8-6-1 锡青铜	2.0～4.0	6.0～9.0	4.0～7.0	—	0.5～1.5	余量
2	ZCuSn3Zn11Pb4	3-11-4 锡青铜	2.0～4.0	9.0～13.0	3.0～6.0	—	—	余量
3	ZCuSn5Pb5Zn5	5-5-5 锡青铜	4.0～6.0	4.0～6.0	4.0～6.0	—	—	余量
4	ZCuSn6Zn6Pb3①	6-6-3 锡青铜	5.0～7.0	5.0～7.0	2.0～4.0	—	—	余量
5	ZCuSn8Zn4①	8-4 锡青铜	7.0～9.0	4.0～7.0	—	—	—	余量
6	ZCuSn10P1	10-1 锡青铜	9.0～11.5	—	—	0.5～1.0	—	余量
7	ZCuSn10Zn2	10-2 锡青铜	9.0～11.0	1.0～3.0	—	—	—	余量
8	ZCuSn10Pb5	10-5 锡青铜	9.0～11.0	—	4.0～6.0	—	—	余量

①　曾用牌号，不属于 GB/T 1176—1987。

2）锡青铜的铸造性能。①铸造锡青铜的结晶温度范围宽，呈糊状凝固，补缩困难，容易产生枝晶偏析和分散的微观缩孔；②该合金具有较小的体积收缩率，因此只要放置较小的冒口即可铸出壁厚均匀而形状复杂的铸件，但是，由于容易产生缩松，故不易得到组织致密的铸件；③铸造锡青铜在一般铸造条件下，容易产生反偏析，使铸件成分不均匀，内部形成许多小孔洞，降低铸件的力学性能和气密性；④铸造锡青铜的吸气倾向大，特别是锡磷青铜，常常在浇、冒口等最后凝固部位发生铜液“上涨”现象；⑤尽管铸造锡青铜的体积收缩率较小，但由于结晶温度范围宽，故当晶界尚有液相，或刚刚凝固时，高温强度很低，如果铸造工艺不合适，也会产生裂纹；⑥铸造锡青铜的铸造线收缩率为 1.45%～1.60%，熔炼温度为 1150～1250℃，壁厚 <30mm 时，浇注温度为 1060～1200℃；壁厚≥30mm 时，浇注温度为 1020～1150℃。

3）铸造锡青铜的应用见表 1-85。

表 1-85　铸造锡青铜的应用

序号	合金牌号	性能特点	应　用
1	ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	有优良的铸造工艺性能和耐蚀性，气密性好，可在流动海水中工作	在压力为 2.5MPa 的蒸汽、海水及淡水中工作的管配件，以及工作温度在 250℃左右的薄壁铸件（12mm 以下）、泵体、加油器、轴承等
2	ZCuSn3Zn11Pb4	有良好的铸造工艺性能和耐蚀性，易加工	管路用配件、塞、止动器、污水管和燃气管接头等
3 4	ZCuSn5Pb5Zn5 ZCuSn6Zn6Pb3	有中等的强度，良好的耐磨性，易加工	压力 10MPa、速度 2.5m/s 条件下工作的轴承、轴套以及其他耐磨件
5	ZCuSn10P1	有良好的耐磨、耐蚀性、强度高，工作温度可达 260℃	电动机轴承、机床螺纹件、螺母、发动机进推气门导套、蜗杆、齿轮、轮缘、叶轮、轴套和衬套等

（续）

序号	合金牌号	性能特点	应用
6	ZCuSn10Zn2	有良好的耐磨、耐蚀、耐压性、强度较高、致密性好	在1.5MPa下工作的重要管路配件，阀、旋塞、泵、叶轮、大型轴套以及船用推进器轴的摩擦件等
7	ZCuSn10Pb5	有较高强度、良好的耐磨性、耐蚀性，特别耐稀盐酸、盐酸和脂肪酸	适于在中高速、重载荷条件下工作的轴承、环体、耐蚀的配件

（2）铸造铝青铜

1）铸造铝青铜的牌号及化学成分见表1-86。

表1-86　铸造铝青铜的牌号及化学成分（GB/T 1176—1987）

序号	合金牌号	合金名称	主要化学成分（质量分数，%）						
			Al	Fe	Mn	Ni	Sn	Zn	Cu
1	ZCuAl8Mn13Fe3	8-13-3 铝青铜	7.0~9.0	2.0~4.0	12.0~14.5	—	—	—	余量
2	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	8-13-3-2 铝青铜	7.0~8.5	2.5~4.0	11.5~14.0	1.8~2.5	—	—	余量
3	ZCuAl9Mn2	9-2 铝青铜	8.0~10.0	—	1.5~2.5	—	—	—	余量
4	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	9-4-4-2 铝青铜	8.5~10.0	4.0~5.0	0.8~2.5	4.0~5.0	—	—	余量
5	ZCuAl10Fe3	10-3 铝青铜	8.5~11.0	2.0~4.0	—	—	—	—	余量
6	ZCuAl10Fe3Mn2	10-3-2 铝青铜	9.0~11.0	2.0~4.0	1.0~2.0	—	—	—	余量
7	ZCuAl7Mn13Zn4Fe3Sn1①	7-13-4-3-1 铝青铜	6.5~7.5	2.5~3.5	11.0~14.0	—	0.4~0.8	3~6	余量
8	ZCuAl10Fe4Ni4①	10-4-4 铝青铜	9.5~11.0	3.5~5.5	—	3.5~5.5	—	—	余量
9	ZCuAl10Fe4Mn3Pb2①	—	9~10	3~4	2~3	—	—	Pb2	余量
10	ZCuAl11Fe7Ni6Cr1①	—	10~12	6~8	Cr0.4~0.8	5~7	—	—	余量

① 曾用牌号，不属于GB/T 1176—1987。

2）铝青铜的铸造性能。①铸造铝青铜的结晶温度范围小（约30℃左右），属于层状凝固，流动性好，体积收缩大，易形成集中缩孔，采用大冒口补缩，能够获得组织致密的铸件；②铸造铝青铜易氧化和吸气，因此在熔炼过程中不应过分搅动铜液；

在确定铸造工艺时，要采取适当措施，防止氧化物进入铸件；③线收缩率为 1.7% ~ 2.5%，浇注温度：壁厚小于 30mm 时为 1060 ~ 1200℃，壁厚大于等于 30mm 时为 1040 ~ 1160℃。

3）铸造铝青铜的应用见表 1-87。

表 1-87　铸造铝青铜的应用

序号	合金牌号	特　点	应　用
1	ZCuAl7Mn13Zn4Fe3Sn1	有很高的力学性能，高的耐蚀性和腐蚀疲劳强度，铸造工艺性好，熔点低、流动性好，可以焊接	要求高强度的耐蚀零件，如大型船舶螺旋桨等，是 ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 的代用材料
2	ZCuAl8Mn13Fe3	有很高的强度和硬度、良好的耐磨性和铸造性能，耐蚀性较 ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 低，作为耐磨件工作温度可达 400℃，可以焊接	适用于重型机械用的轴套，要求强度高、耐磨、耐压的零件，如衬套、法兰、阀体、泵体等
3	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	有很高的力学性能，在大气、废水和海水中均有良好的耐蚀性，腐蚀疲劳强度高，铸造性能好，合金组织致密，气密性高，可以焊接，但不宜钎焊	要求强度高、耐蚀的重要铸件，如大型船舶螺旋桨，高压泵体、阀体，耐压耐磨件，如涡轮、齿轮、法兰、衬套等
4	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	有很高的力学性能，在大气、淡水和海水中均有良好的耐蚀性，抗空泡腐蚀性好，腐蚀疲劳强度高，并有良好的耐磨性和铸造性能，在 400℃以下具有耐热性，可以热处理	要求强度高、耐蚀的重要铸件，是船舶螺旋桨的重要材料之一，也可用作耐磨和 400℃以下工作的零件，如轴承、齿轮、涡轮、螺母、法兰、阀体、导向套管、管配件等
5	ZCuAl9Mn2	有较高的力学性能，良好的耐磨性能和耐蚀性，铸造性能好，组织致密，气密性高，可以焊接	耐蚀耐磨零件，形状简单的大型铸件，如衬套、齿轮，以及 250℃以下工作的管配件、增压器零件等
6	ZCuAl10Fe3	有高的力学性能，高的耐磨性，良好的耐蚀性，大型铸件自 700℃空冷可防止缓冷脆性	要求强度高、耐磨、耐蚀的重要铸件，如大型轴套、螺母、涡轮以及 250℃以下工作的管配件等
7	ZCuAl10Fe3Mn2	有高的力学性能和耐蚀性，在大气、淡水和海水中有良好的耐蚀性，可热处理，大型铸件自 700℃空冷可防止缓冷脆性	要求强度高、耐磨、耐蚀的零件，如齿轮、轴承、衬套、管嘴、耐热管配件等
8	ZCuAl10Fe4Ni4	有很高的力学性能，优良的耐蚀性，高的腐蚀疲劳强度，可以热处理强化，在 400℃以下有高的耐热性，铸造性能不如 ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	高温耐蚀零件，如齿轮、球形座、法兰、涡轮、搅拌器零件，以及航空发动机的导套等

(3) 铸造铍青铜

1) 铸造铍青铜的牌号及化学成分见表1-88。

表1-88 铸造铍青铜的牌号及化学成分

序号	合金牌号	主要化学成分(质量分数,%)					杂质元素总量≤
		Be	Co	Ni	Si	Cu	
1	ZCuBe0.5Co2.5	0.45~0.8	2.4~2.7①	—	—	余量	0.5
2	ZCuBe0.5Ni1.5	0.35~0.8	—	1.0~2.0	—	余量	0.5
3	ZCuBe2Co0.5Si0.25	1.90~2.15	0.35~0.7①	—	0.20~0.35	余量	0.5
4	ZCuBe2.4Co0.5	2.25~2.45	0.35~0.75	—	0.20~0.35	余量	0.5
5	ZCuBe2Co1	2.0~2.25	1.0~1.25	—	0.20~0.40	余量	0.5
6	ZCuBe0.4Ni1.5Ti0.5	0.15~0.65	—	1.10~1.85	—	余量	0.5
7	ZCuBe1Al8Fe1Co1	0.7~1.2	0.7~1.2	Al7~8	Fe0.4	余量	1.0

① 包括Co+Ni。

2) 铸造铍青铜的铸造性能及参数见表1-89。

表1-89 铸造铍青铜的铸造性能及参数

序号	合金牌号	铸造性能	熔化温度/℃	浇注温度/℃	
				小件	大件
1	ZCuBe0.5Co2.5	有比较好的铸造工艺性,较低的造渣性,中等吸气、收缩和高的流动性,尺寸敏感性小	1250~1300	1150~1200	1120~1150
2	ZCuBe0.5Ni1.5			1170~1200	1140~1170
3	ZCuBe0.4Ni1.5Ti0.5			1170~1200	1160~1180
4	ZCuBe2Co0.5Si0.25	有比较好的铸造工艺性,中等的流动性、造渣性、吸气性和收缩性,尺寸敏感性中等	1200~1250	1060~1120	1010~1030
5	ZCuBe2.4Co0.5			1040~1080	1010~1030
6	ZCuBe2Co1			1050~1100	1010~1030
7	ZCuBe1Al8Fe1Co1	有良好的铸造工艺性,中等的吸气性、收缩性和流动性,造渣性较强	1200~1250	1080~1120	

注:铸造铍青铜适合于砂型铸造、熔模铸造、金属型铸造、离心铸造和压力铸造。无论采用哪种铸造方法,都需要采取有效的防护措施,以防有害的铍化物对人体的危害。

3) 铸造铍青铜的应用见表1-90。

表1-90 铸造铍青铜的应用

序号	合金牌号	特性	应用
1	ZCuBe0.5Co2.5	有较高的导电导热性,较高的强度、硬度,良好的耐磨性和优良的高温抗氧化性以及较高的热强性	要求高强度、高导电、导热的零件,如接触器触架,电阻焊电极和夹持器、水平臂,连铸机的水冷模、结晶器,压铸机的活塞头,电烙铁焊头等
2	ZCuBe0.5Ni1.5		
3	ZCuBe0.4Ni1.5Ti0.5		
4	ZCuBe2Co0.5Si0.25	有很高的强度和硬度,高的耐磨性和耐蚀性,受冲击时不产生火花	要求高强度的耐磨零件,如塑料成型模、压铸机零件、凸轮、衬套、轴承、阀、安全工具以及首饰等

（续）

序号	合金牌号	特性	应用
5	ZCuBe2.4Co0.5	比 ZCuBe2Co0.5Si0.25 合金的强度和硬度更高	塑料成型模、轴承、阀等
6	ZCuBe2Co1		
7	ZCuBe1Al8Fe1Co1	兼有铝青铜和铍青铜的特点，有很高的强度、优良的耐蚀性和抗海水冲击腐蚀性能，有良好铸造工艺性	船舶和化工结构件，如螺旋桨、叶片、泵体等

（4）铸造硅青铜、锰青铜、铬青铜

1）铸造硅青铜、锰青铜、铬青铜的牌号及化学成分见表 1-91。

表 1-91　铸造硅青铜、锰青铜和铬青铜的牌号及化学成分

名称	合金牌号	主要化学成分（质量分数，%）						杂质元素总和（质量分数，%） ≤
		Mn	Si	Ni	Cr	Pb	Cu	
硅青铜	ZCuSi3Mn1	1.0～1.5	2.75～3.5	—	—	—	余量	1.1
	ZCuSi3Pb6Mn1	1.0～1.5	2.5～3.5	—	—	5.5～6.5	余量	1.1
	ZCuSi0.5Ni1Mg0.02	—	0.3～0.6	0.5～1.0	Mg：0.01～0.03		余量	0.3
锰青铜	ZCuMn5	4.5～5.5	—	—	—	—	余量	0.9
铬青铜	ZCuCr1	—	—	—	0.5～1.2	—	余量	0.3

2）铸造硅青铜、锰青铜、铬青铜的铸造性能及参数见表 1-92。

表 1-92　铸造硅青铜、锰青铜、铬青铜的铸造性能及参数

名称	合金牌号	特点	流动性（螺旋线长度）/cm	线收缩率（%）	壁厚<30mm	壁厚≥30mm
					浇注温度/℃	
硅青铜	ZCuSi3Mn1	中等流动性和造渣性，较强的吸气性，线收缩小	—	1.6	1120～1150	1080～1120
	ZCuSi0.5Ni1Mg0.02		—	1.9	1180～1220	1150～1200
	ZCuSi3Pb6Mn1	流动性好，易吸气，线收缩小	—	1.6	1100～1120	1050～1100
锰青铜	ZCuMn5	中等吸气性和造渣性，线收缩大，流动性差	25	1.96	1130～1150	1100～1130
铬青铜	ZCuCr1	吸气性和造渣性强，线收缩大，流动性中等	75	2.1	1200～1250	1170～1200

注：1. 硅青铜和锰青铜有良好的铸造性能，适用于砂型或金属型铸造。
　　2. 铬青铜的吸气性和造渣性都很强，故要快速熔炼，控制加 Cr 的温度和时间，采用干型浇注，以防吸气和氧化。

3）铸造硅青铜、锰青铜、铬青铜的应用见表1-93。

表1-93 铸造硅青铜、锰青铜、铬青铜的应用

名称	合金牌号	特性	应用
硅青铜	ZCuSi3Mn1	有较高的强度，容易焊接，在大气、淡水和海水中有高的耐蚀性，撞击时不产生火花，耐低温	耐蚀铸件，齿轮、衬套等耐磨零件
	ZCuSi3Pb6Mn1	有较高的强度，耐磨、耐蚀性好，砂型铸造时合金液与铸型会发生反应，使铸件表面质量恶化，加微量铝可以改善	代替锡青铜作轴瓦、轴套等耐磨零件
	ZCuSi0.5Ni1Mg0.02	有较高的强度，导电、传热及耐热性能好，具有一定的抗高温氧化能力	高炉风口、渣口，导电板、电极夹持器，电力接线金具
锰青铜	ZCuMn5	在较高温度下仍保持高强度和硬度，耐蚀性好	蒸汽阀、火花塞、锅炉配件
铬青铜	ZCuCr1	在400℃以下有较高的强度、硬度，导电、导热性好，高的抗氧化性和耐蚀性	要求高温强度和导电、导热的结构零件，如导电板、电极夹持器和电力接线金具等

3. 铸造黄铜

以锌为主要合金元素的Cu-Zn二元合金通称为黄铜或普通黄铜。工业上实用的黄铜中的$w(Zn)\leqslant 50\%$，其组织为α、α+β或β相，故又称α黄铜、α+β黄铜和β黄铜。

在普通黄铜的基础上，再添加其他合金元素组成的多元合金称为特殊黄铜，如海军黄铜、易切削黄铜、高强度锰黄铜和压铸黄铜等。

大多数黄铜兼作压力加工和铸造合金使用，但高强度特殊黄铜则主要作铸造合金使用，其中熔点较低的合金用于压铸。

（1）铸造黄铜的牌号及化学成分（见表1-94）

表1-94 铸造黄铜的牌号及化学成分（GB/T 1176—1987）

序号	合金牌号	合金名称	主要化学成分（质量分数，%）						
			Cu	Pb	Al	Fe	Mn	Si	Zn
1	ZCuZn38	38黄铜	60~63	—	—	—	—	—	余量
2	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	25-6-3-3铝黄铜	60~66	—	4.5~7.0	2.0~4.0	1.5~4.0	—	余量
3	ZCuZn26Al4Fe3Mn3	26-4-3-3铝黄铜	60~66	—	2.5~5.0	1.5~4.0	1.5~4.0	—	余量
4	ZCuZn31Al2	31-2铝黄铜	66~68	—	2.0~3.0	—	—	—	余量

（续）

序号	合 金 牌 号	合 金 名 称	主要化学成分(质量分数,%)						
			Cu	Pb	Al	Fe	Mn	Si	Zn
5	ZCuZn35Al2Mn2Fe1	35-2-2-1 铝黄铜	57~65	—	0.5~2.5	0.5~2.0	0.1~3.0	—	余量
6	ZCuZn38Mn2Pb2	38-2-2 锰黄铜	57~60	—	—	—	1.5~2.5	—	余量
7	ZCuZn40Mn2	40-2 锰黄铜	57~60	—	—	—	1.0~2.0	—	余量
8	ZCuZn40Mn3Fe1	40-3-1 锰黄铜	53~58	—	—	0.5~1.5	3.0~4.0	—	余量
9	ZCuZn33Pb2	33-2 铅黄铜	63~67	1.0~3.0	—	—	—	—	余量
10	ZCuZn40Pb2	40-2 铅黄铜	58~63	0.5~2.5	—	—	—	—	余量
11	ZCuZn16Si4	16-4 硅黄铜	79~81	—	—	—	—	2.5~4.5	余量
12	ZCuZn24Al5Fe2Mn2①		67~70	—	4.5~6.0	2.0~3.0	2.0~3.0	—	余量

① 曾用牌号，不属于 GB/T 1176—1987。

（2）铸造黄铜的铸造性能及宜选用的铸造方法（见表 1-95、表 1-96）

表 1-95 铸造黄铜的铸造性能

序号	合 金 牌 号	流动性（螺旋线长度）/cm	线收缩率（%）	精炼温度/℃	浇注温度/℃	
					壁厚<30mm	壁厚≥30mm
1	ZCuZn38	65	1.8	1120~1180	1060~1100	980~1020
2	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	47	1.8	1100~1160	1030~1050	980~1020
3	ZCuZn26Al4Fe3Mn3	—	2.0	1100~1160	1050~1080	1020~1050
4	ZCuZn31Al2	57	1.25	1120~1180	1080~1120	1000~1080
5	ZCuZn35Al2Mn2Fe1	83	2.1	1100~1150	1030~1050	960~1020
6	ZCuZn38Mn2Pb2	83	2.1	1100~1150	1020~1040	980~1020
7	ZCuZn40Mn2	83	1.7	1100~1150	1020~1040	980~1020
8	ZCuZn40Mn3Fe1	70	1.5	1100~1160	1020~1040	980~1020
9	ZCuZn33Pb2	—	2.2	1120~1160	1040~1070	1000~1040
10	ZCuZn40Pb2	60	2.23	1100~1150	1030~1060	980~1020
11	ZCuZn16Si4	60	1.65	1100~1150	1040~1080	980~1040
12	ZCuZn24Al5Fe2Mn2	—	2.0	1100~1160	1050~1080	1020~1050

表 1-96 铸造黄铜宜选用的铸造方法

序号	合金牌号	宜选用的铸造方法	说明
1	ZCuZn38	S、Li	
2	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	S、Li、I	
3	ZCuZn26Al4Fe3Mn3	S、Li、La、I	
4	ZCuZn31Al2	Y、J、S	适合于浇注薄壁铸件
5	ZCuZn35Al2Mn2Fe1	S、Y、Li、I	
6	ZCuZn38Mn2Pb2	J、S、I	
7	ZCuZn40Mn2	J、S、I	
8	ZCuZn40Mn3Fe1	S、Y、Li	适合于砂型浇注大型铸件
9	ZCuZn33Pb2	J、S、Li、La	
10	ZCuZn40Pb2	J、Li、Y	
11	ZCuZn16Si4	Y、S、J、Li、La、I	适合于压铸，浇注形状复杂或薄壁件
12	ZCuZn24Al5Fe2Mn2	S、Li、I	

注：Y—压铸，S—砂型，J—金属型铸造，Li—离心铸造，La—连铸，I—精密铸造。

（3）铸造黄铜的应用（见表 1-97）

表 1-97 铸造黄铜的应用

序号	合金牌号	性能特点	应用范围
1	ZCuZn16Si4	在大气、海水中有较高的耐蚀性，比一般黄铜的抗应力腐蚀性好，有较高的强度和优良的铸造工艺性	适合于压铸和精铸薄壁铸件、壳形铸件，工作温度在 250℃ 以下的耐水压零件。主要用作轴承、海水用泵体和叶轮、淡水用小船螺旋桨、齿轮、摇臂、阀门等
2	ZCuZn24Al5Fe2Mn2	有高的强度、良好的铸造和焊接性，在大气、海水中有良好的耐蚀性	主要用作船用螺旋桨
3	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	有很高的强度、硬度，良好的耐磨性、耐蚀性	主要用作大型阀门杆、齿轮、凸轮、低速重载轴承、压紧螺母、液压缸套等
4	ZCuZn26Al4Fe3Mn3	有高的强度、良好的耐蚀性和铸造工艺性	海军铸件、齿轮、枪架、衬套、轴承等
5	ZCuZn31Al2	有较高的强度，在大气、淡水和海水中有良好的耐蚀性	用作在大气、海水中工作的耐蚀零件，如冷凝器和热交换器附件等
6	ZCuZn33Pb2	有一定的强度和良好的切削加工性，金属光泽呈黄金色	不承受高压的一般用途铸件、无线电接头、装饰铸件等
7	ZCuZn38	有一定的强度、耐蚀性、良好的铸造工艺性，价格便宜	一般用途的小型结构零件、装饰铸件

（续）

序号	合金牌号	性能特点	应用范围
8	ZCuZn35Al2Mn2Fe1	有较高的强度和塑性，良好的耐磨性	要求强度和韧性的铸件，如杠杆摇臂、阀门杆、齿轮、衬套、轴承等
9	ZCuZn38Mn2Pb2	有较高的强度，良好的耐磨、耐蚀性和切削加工性	轴承、衬套和其他耐磨零件，车辆轴承的加强件等
10	ZCuZn40Mn2	在海水、氯化物及过热蒸汽中有良好的耐蚀性、焊接性和较高的强度	管道工程零件、支承推力轴承、骨架、衬套以及需镀锡的零件等
11	ZCuZn40Mn3Fe1	有较高的强度，良好的铸造性和焊接性，在大气、海水中有良好的耐蚀性，抗空泡和防污性低于铝青铜	温度在300℃以下的外形不复杂的重要构件，海水中工作的船舶构件，如螺旋桨、叶片等

4. 铸造白铜

白铜是以镍为主要元素的铜合金。在此基础上，再添加第三种元素（如Zn、Al、Fe、Mn、Be、Nb等），则形成锌白铜（德银）、铝白铜、铁白铜、锰白铜、铍白铜和铌白铜等。铸造白铜具有优良的耐蚀性和较高的强度、良好的铸造工艺性，广泛用于制造耐蚀结构制品。

（1）铸造白铜常用的牌号及化学成分（见表1-98）

表1-98　铸造白铜常用的牌号及化学成分

合金牌号	主要化学成分（质量分数，%）							
	Ni	Fe	Sn	Al	Nb	Zn	Pb	Cu
ZCuNi10Fe1	9.0～11.0	1.0～1.8	—	—	—	—	—	余量
ZCuNi15Al11Fe1	13.5～16.5	0.4～1.0	—	10.7～11.5	Co：1.0～2.0	—	—	余量
ZCuNi20Sn4Zn5Pb4	19.5～21.5	—	3.5～4.5	—	—	3.0～9.0	3.0～5.0	63.0～67.0
ZCuNi25Sn5Zn2Pb2	24～27	—	4.5～5.5	—	—	1.0～4.0	1.0～2.5	64.0～67.0
ZCuNi22Zn13Pb6Sn4Fe1	20.0～24.0	0.4～1.0	2.0～4.0	—	—	11～15	4.0～7.0	余量
ZCuNi30Nb1Fe1	28～32	0.2～1.5	—	—	0.5～1.5	—	—	65.0～69.0
ZCuNi30Be1.2	29.0～33.0	0.7～1.0	—	Zr：0.1～2.0	Ti：0.1～2.0	—	—	余量
ZCuNi30Cr2Fe1Mn1	29.0～32.0	0.5～1.0	—	Si：0.2～0.4	Ti：0.1～2.0	0.05～0.15	—	余量

（2）铸造白铜的铸造性能（见表1-99）

表1-99 铸造白铜的铸造性能

序号	合金牌号	铸造方法	线收缩率（%）	熔炼温度/℃	浇注温度/℃	
					小件	大件
1	ZCuNi10Fe1	S、Li	—	1350～1400	1280～1320	1230～1280
2	ZCuNi15Al11Fe1	S、La	1.56	1300～1350	1220～1280	1200～1250
3	ZCuNi20Sn4Zn5Pb4	S、J、Li	1.40	1350～1400	1260～1320	1220～1280
4	ZCuNi25Sn5Zn2Pb2	S、J、Li		1380～1430	1300～1360	1260～1320
5	ZCuNi30Nb1Fe1	S、Li、La	1.82	1420～1480	1350～1400	1290～1350
6	ZCuNi30Be1.2	S、J	1.8	1320～1380	1220～1300	1200～1280
7	ZCuNi30Cr2Fe1Mn1	S、J	1.8	1380～1430	1300～1350	1250～1300

注：铸造白铜具有较好的铸造工艺性，中等的造渣性、流动性和收缩性。但吸气性较强，浇注前需用Cu-Mn（或Mn）、Cu-Mg（或Mg）和Cu-P脱氧。

（3）铸造白铜的特性及应用（见表1-100）

表1-100 铸造白铜的特性及应用

序号	合金牌号	特性	应用
1	ZCuNi10Fe1	在大气、海水和酸、碱介质中有良好的耐蚀性，容易焊接	抗海水腐蚀和化工设备的零部件，压缩机阀体、泵壳、叶片、弯管、凸缘等
2	ZCuNi15Al11Fe1	有高的强度、硬度、足够的热强度，能在较高工作温度下工作	船舶结构零件，玻璃成型模具，平板玻璃轧辊等
3	ZCuNi20Sn4Zn5Pb4	有高的耐蚀性，容易钎焊，易切削加工，但流动性较低	船舶结构件和附件、保护装置、乐器和装饰结构零件等
4	ZCuNi25Sn5Zn2Pb2	在各种大气环境中有高的耐蚀性，容易钎焊和切削加工	船舶结构件、装饰、保护装置和食品加工设备零件以及泵体、阀等
5	ZCuNi22Zn13Pb6Sn4Fe1	在各种大气环境中有高的耐蚀性，容易钎焊和切削加工	船舶结构件、装饰和食品加工设备零件
6	ZCuNi30Nb1Fe1	在大气和海水中有优良的耐蚀性，较高的强度，良好的焊接性	抗海水腐蚀的零件、阀门座、泵壳体等
7	ZCuNi30Be1.2	在大气、海水、无机酸和氨气氛条件下有良好的耐蚀性，有很高的强度、耐磨和耐热性	抗海水腐蚀的零件、阀门座、泵壳体，玻璃成型模具，平板玻璃轧辊、陶瓷铸模和塑料模具
8	ZCuNi30Cr2Fe1Mn1	在大气、海水、无机酸和氨气氛条件下有良好的耐蚀性，有很高的强度、耐磨和耐热性	抗海水腐蚀的零件、阀门座、泵壳体，玻璃成型模具，平板玻璃轧辊、陶瓷铸模和塑料模具

1.3.4　铸造锌合金

铸造锌合金分为压力铸造锌合金和重力铸造锌合金。在我国，锌是非铁金属工业中重点发展的主要金属之一。用锌合金取代铜合金和铝合金，在节约能源和降低原材料成本以及使用本国资源方面，具有重要意义。

1. 铸造锌合金的化学成分（见表1-101）

表1-101　铸造锌合金的化学成分（GB/T 1175—1997）

合金牌号	代号	主要化学成分(质量分数,%)				其他元素(质量分数,%)≤					
		Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Cd	Sn	其他	总和
ZZnAl4Cu1Mg	ZA4-1	3.5~4.5	0.75~1.25	0.03~0.08	其余	0.1	0.015	0.005	0.003	—	0.2
ZZnAl4Cu3Mg	ZA4-3	3.5~4.3	2.5~3.2	0.03~0.06	其余	0.075	Pb+Cd0.009		0.002	—	
ZZnAl6Cu1	ZA6-1	5.6~6.0	1.2~1.6	0.005	其余	0.075	Pb+Cd0.009		0.002	—	
ZZnAl8Cu1Mg	ZA8-1	8.0~8.8	0.8~1.3	0.015~0.030	其余	0.075	0.006	0.006	0.003	Mn:0.01 Cr:0.01 Ni:0.01	—
ZZnAl9Cu2Mg	ZA9-2	8~10	1~2	0.03~0.06	其余	0.2	0.03	0.02	0.01	Si:0.1	0.35
ZZnAl11Cu1Mg	ZA11-1	10.5~11.5	0.5~1.2	0.015~0.030	其余	0.075	0.006	0.006	0.003	Mn:0.01 Cr:0.01 Ni:0.01	—
ZZnAl11Cu5Mg	ZA11-5	10~12	4.0~5.5	0.03~0.06	其余	0.2	0.03	0.02	0.01	Si:0.05	0.35
ZZnAl27Cu2Mg	ZA27-2	25~28	2.0~2.5	0.010~0.020	其余	0.075	0.006	0.006	0.003	Mn:0.01 Cr:0.01 Ni:0.01	—

2. 铸造性能

重力铸造锌合金铸件，在缓慢冷却的条件下凝固时，容易发生底面缩孔缺陷和密度偏析。防止底面缩孔缺陷产生的最有效的措施，是提高铸件冷却速度，而在浇注前充分搅拌可减小密度偏析。冷却速度大于150℃/min时可以消除底面缩孔。锌合金金属型冷却快，凝固时间短，产生宏观偏析和底面缩孔的缺陷倾向小。砂型铸造，可通过设置冷铁、控制温度梯度和冷却速度来防止成分的宏观偏析，减小底面缩孔倾向。

锌合金的吸气倾向小。通常熔炼条件下不进行去气处理，也极少出现析出性气孔。

3. 铸造锌合金的应用（见表1-102）

表1-102 铸造锌合金的应用

序号	合金代号	性能特点	应用
1	ZA4-1	铸造性好,耐蚀性好,强度较高,但尺寸稳定性稍差	适用于汽车、拖拉机、电气等工业部门,不要求高精度的装饰性零配件及壳体铸件
2	ZA4-3	铸造性好、强度较高	常用作模具,如注塑模、吹塑模及简易冲压模具等。还可用于汽车及其他工业部门用的各种砂型及金属型铸件
3	ZA6-1	铸造性好	用于技术难度要求高的砂型和金属型铸件、军械铸件、仪表铸件
4	ZA9-2	铸造性好、强度较高、耐磨性较好	可用作锡青铜及低锡轴承合金的代用品,制造在80℃以下工作的各种起重运输设备、机床、水泵、鼓风机等的轴承
5	ZA11-5		
6	ZA8-1	铸造性好,特别适合于金属型铸造,也可用热室压铸	可用于管接头、阀、电气开关和变压器铸件,工业用滑轮和带轮、客车和运输车辆零件、灌溉系统零件、小五金零件
7	ZA11-1	铸造性好,强度较高,耐磨性好,适合于金属型、砂型铸造,也可用于冷室压铸	可制造有润滑的轴承、轴套、抗擦伤的耐磨零件、气压及液压配件、工业设备及农机具零件、运输车辆和客车零件
8	ZA27-2	重量较轻,强度高,耐磨性好,工作温度可至150℃。可用于砂型、金属型铸造,也可用冷室压铸	适合于制造高强度薄壁零件、抗擦伤的耐磨零件、轴套、气压及液压配件、工业设备及农机具零件、运输车辆和客车零件

1.3.5 铸造轴承合金

用来制造滑动轴承、轴瓦的金属材料，称为轴承合金。目前工业中最常见的有锡基、铅基、铜基和铝基等非铁铸造轴承合金。

锡基和铅基轴承合金是低熔点合金，统称巴氏合金，目前仍然是承受中等负荷的轴承合金中较为理想的材料。将其浇注在低碳钢表面上作为双金属轴瓦材料。

1. 铸造锡基和铅基轴承合金

（1）铸造锡基轴承合金　铸造锡基轴承合金具有较高的减摩性能、很好的嵌入性、摩擦顺应性和耐蚀性。强度、硬度和疲劳强度均较低。适用于汽车、拖拉机、汽轮机等高速轴承。

铸造锡基轴承合金的牌号及化学成分见表1-103，其铸造性能见表1-104。

表 1-103　铸造锡基轴承合金的牌号及化学成分（GB/T 1174—1992）

序号	合金牌号	化学成分(质量分数,%)					
		Sn	Pb	Cu	Zn	Al	Sb
1	ZSnSb12Pb10Cu4	其余	9.0~11.0	2.5~5.0	0.01	0.01	11~13
2	ZSnSb12Cu6Cd1	其余	0.15	4.5~6.8	0.05	0.05	10~13
3	ZSnSb11Cu6	其余	0.35	5.5~6.5	0.01	0.01	10~12
4	ZSnSb8Cu4	其余	0.35	3.0~4.0	0.005	0.005	7~8
5	ZSnSb4Cu4	其余	0.35	4.0~5.0	0.01	0.01	4~5

序号	合金牌号	化学成分(质量分数,%)					
		Ni	Fe	Bi	As	其他	其他元素总和
1	ZSnSb12Pb10Cu4	—	0.1	0.08	0.1	—	0.55
2	ZSnSb12Cu6Cd1	0.3~0.6	0.1	—	0.4~0.7	Cd:1.1~1.6 Fe+Al+Zn≤0.15	—
3	ZSnSb11Cu6	—	0.1	0.03	0.1	—	0.55
4	ZSnSb8Cu4	—	0.1	0.03	0.1	—	0.55
5	ZSnSb4Cu4	—	—	0.08	0.1	—	0.55

表 1-104　铸造锡基轴承合金的铸造性能

序号	合金牌号	液相线温度/℃	固相线温度/℃	最合适浇注温度/℃	线收缩率(%)	流动性(螺旋线长度)/cm
1	ZSnSb12Pb10Cu4	380	217	450	—	—
2	ZSnSb11Cu6	370	240	440	0.65	73
3	ZSnSb8Cu4	354	241	430	—	—
4	ZSnSb4Cu4	371	223	440	—	—

（2）铸造铅基轴承合金　铸造铅基轴承合金比铸造锡基轴承合金便宜，耐磨性、强度和耐蚀性比锡基合金差，热膨胀系数比锡基合金大，工作温度稍高于锡基合金，其他性能与锡基合金相似。适用于低速、低载荷或静载荷下工作的中载荷机械设备。

铸造铅基轴承合金的牌号及化学成分见表 1-105，其铸造性能见表 1-106。

表 1-105　铸造铅基轴承合金的牌号及化学成分（GB/T 1174—1992）

序号	合金牌号	化学成分(质量分数,%)					
		Sn	Pb	Cu	Zn	Al	Sb
1	ZPbSb16Sn16Cu2	15.0~17.0	其余	1.5~2.0	0.15	—	15~17
2	ZPbSb15Sn5Cu3Cd2	5.0~6.0	其余	2.5~3.0	0.15	—	14~16
3	ZPbSb15Sn10	9.0~11.0	其余	0.7	0.005	0.005	14~16
4	ZPbSb15Sn5	4.0~5.5	其余	0.5~1.0	0.15	0.01	14~15
5	ZPbSb10Sn6	5.0~7.0	其余	0.7	0.005	0.005	9~11

（续）

序号	合金牌号	化学成分(质量分数,%)				
		Fe	Bi	As	Cd	其他元素总和
1	ZPbSb16Sn16Cu2	0.1	0.1	0.3	—	0.6
2	ZPbSb15Sn5Cu3Cd2	0.1	0.1	0.6~1.0	1.75~2.25	0.4
3	ZPbSb15Sn10	0.1	0.1	0.6	0.05	0.45
4	ZPbSb15Sn5	0.1	0.1	0.2	—	0.75
5	ZPbSb10Sn6	0.1	0.1	0.25	0.05	0.7

表1-106 铅基轴承合金的铸造性能

序号	合金牌号	液相线温度/℃	固相线温度/℃	浇注温度范围/℃	体收缩率(%)	流动性(螺旋线长度)/cm
1	ZPbSb16Sn16Cu2	410	240	450~470	—	54
2	ZPbSb15Sn5Cu3Cd2	416	232	450~470	—	—
3	ZPbSb15Sn10	268	240	380~400	2.3	—
4	ZPbSb15Sn5	380	237	450~470	2	—
5	ZPbSb10Sn6	256	240	380~400	2	—

2. 铸造铜基轴承合金

铸造铜基轴承合金在高压高速工作条件下具有较高的疲劳强度，与其他减摩合金相比，在冲击载荷下开裂倾向较小，有高的导热性，优越的亲油性、减磨性和耐磨性，但摩擦顺应性、嵌入性比锡基或铅基轴承合金差。铸造铜基轴承合金适用于高速、高载荷的轴承，例如航空发动机、大马力柴油机、拖拉机等发动机曲轴连杆轴承。

（1）铸造铜基轴承合金的牌号及化学成分（见表1-107）

表1-107 铸造铜基轴承合金的牌号及化学成分（GB/T 1174—1992）

序号	合金牌号	化学成分(质量分数,%)						
		Sn	Pb	Cu	Zn	Al	Sb	Ni
1	ZCuSn5Pb5Zn5	4.0~6.0	4.0~6.0	其余	4.0~6.0	0.01	0.25	2.5
2	ZCuSn10P1	9.0~11.5	0.25	其余	0.05	0.01	0.05	0.10
3	ZCuPb10Sn10	9.0~11.0	8.0~11.0	其余	2.0*	0.01	0.5	2.0*
4	ZCuPb15Sn8	7.0~9.0	13.0~17.0	其余	2.0*	0.01	0.5	2.0
5	ZCuPb20Sn5	4.0~6.0	18.0~23.0	其余	2.0*	0.01	0.75	2.5
6	ZCuPb30	1.0	27.0~33.0	其余	—	0.01	0.2	—
7	ZCuAl10Fe3	0.3	0.2	其余	0.4	8.5~11.0	—	3.0

（续）

序号	合金牌号	化学成分(质量分数,%)							
		Mn	Si	Fe	Bi	As	P	S	其他元素总和
1	ZCuSn5Pb5Zn5	—	0.01	0.30	—	—	0.05	0.10	0.7
2	ZCuSn10P1	0.05	0.02	0.10	0.005	—	0.5~1.0	0.05	0.7
3	ZCuPb10Sn10	0.2	0.01	0.25	0.005	—	0.05	0.10	1.0
4	ZCuPb15Sn8	0.2	0.01	0.25	—	—	0.10	0.10	1.0
5	ZCuPb20Sn5	0.2	0.01	0.25	—	—	0.10	0.10	1.0
6	ZCuPb30	0.3	0.02	0.5	0.005	0.1	0.08		1.0
7	ZCuAl10Fe3	1.0	0.20	2.0~4.0	—	—	—	—	1.0

注：1. 凡表格中所列两个数值者，系指该合金主要含量范围；表格中所列单一数值者，系指允许的最高含量。

2. 表中有 * 号的数值，不计入其他元素之和。

（2）铸造铜基轴承合金的铸造性能（见表 1-108）

表 1-108　铸造铜基轴承合金的铸造性能

序号	合金牌号	流动性/mm	线收缩率(%)	液相线温度/℃	熔化温度/℃	浇注温度/℃
1	ZCuPb10Sn10	—	1.6	925	1100~1150	1000~1100
2	ZCuPb15Sn8	450	1.4	930	1100~1150	1000~1100
3	ZCuPb20Sn5	450	1.5	940	1100~1200	1000~1100
4	ZCuPb30	350	1.6	950	1100~1200	1030~1060

注：铸造铜基合金在铸造凝固过程中有一个较突出的问题，就是易产生重力偏析，所以，浇注前应充分搅拌，浇注后快速冷却。通常将冷水喷射到刚浇注好的铸造铜基合金轴瓦的钢壳上进行快速冷却。合金中加有少量锡和镍等第三元素也可以减少铅的偏析。

3. 铸造铝基轴承合金

（1）铸造铝锡轴承合金的牌号及化学成分（见表 1-109）

表 1-109　铸造铝锡轴承合金的牌号及化学成分（GB/T 1174—1992）

牌号	化学成分(质量分数,%)										
	Sn	Cu	Si	Ni	Al	Fe	Si	Mn	Zn	Pb	Ti
						≤					
ZAlSn6Cu1Ni1	5.5~7.1	0.7~1.3	0.7	0.7~1.3	其余	0.7	0.7	0.1	—	—	0.2
						Fe+Si+Mn≤1.0					

（2）铸造铝锡轴承合金的力学性能及应用（见表1-110）

表1-110 铸造铝锡轴承合金的力学性能及应用

牌号	使用状态	抗拉强度/MPa	双金属间的结合强度/MPa	断后伸长率（%）	硬度HBW	应用
ZAlSn6Cu1Ni1	S	≥110	—	≥10	35（参考）	若制成有钢壳的双金属轴瓦，可用于高速和重载荷轴承，如重载荷柴油机和压缩机曲轴轴承、齿轮箱和自动传动装置轴承，也可用于铸造一般机床的轴套
	J	≥130	—	≥15	40（参考）	

注：线收缩率为1.5%～1.7%。为避免合金偏析，制造铝锡合金整体轴承时必须采用金属型铸造。

第 2 章　铸造合金熔炼

2.1　碱性电弧炉氧化法炼钢

2.1.1　电弧炉的基本结构与型号

1. HX 型三相电弧炉的基本结构

主要由炉体、炉盖、电极、电极升降与夹持机构、倾炉机构、电气装置和水冷装置等构成，如图 2-1 所示。

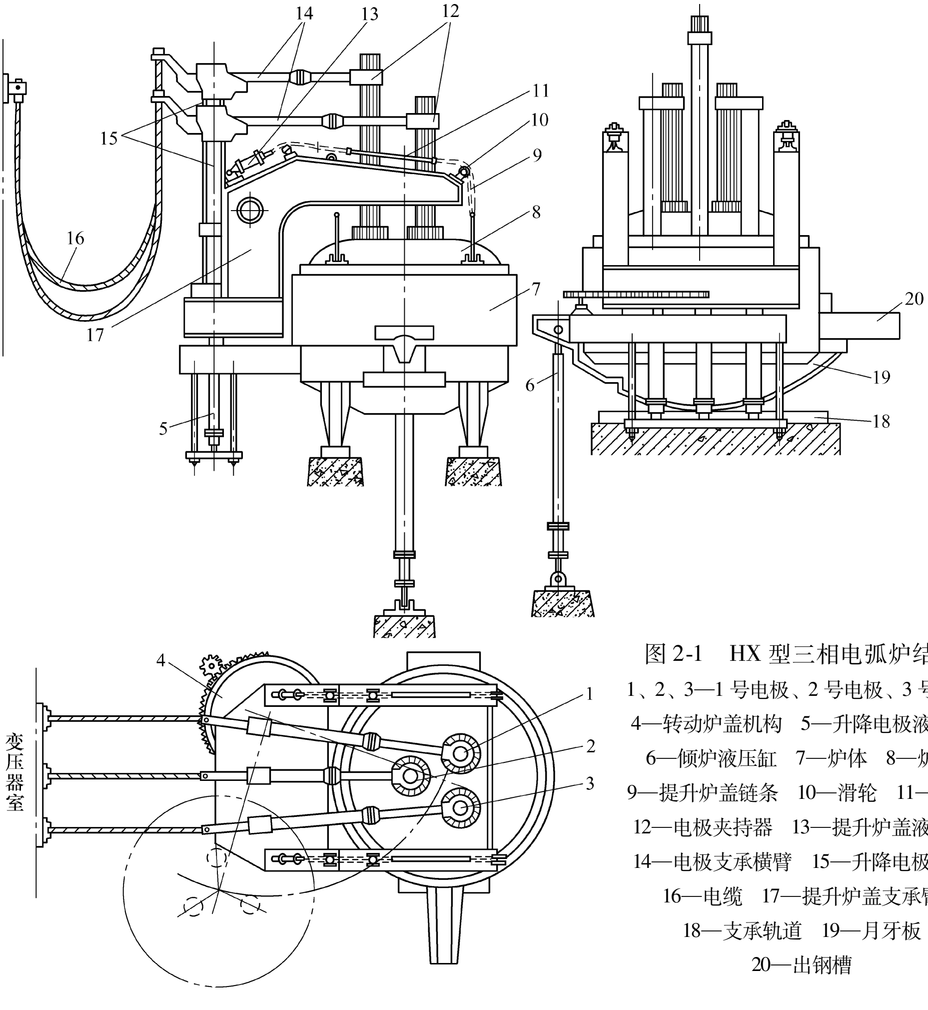
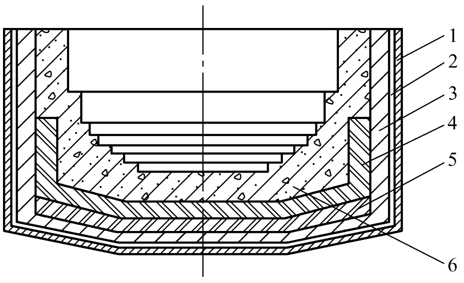


图 2-1　HX 型三相电弧炉结构

1、2、3—1 号电极、2 号电极、3 号电极　4—转动炉盖机构　5—升降电极液压缸　6—倾炉液压缸　7—炉体　8—炉盖　9—提升炉盖链条　10—滑轮　11—拉杆　12—电极夹持器　13—提升炉盖液压缸　14—电极支承横臂　15—升降电极立柱　16—电缆　17—提升炉盖支承臂　18—支承轨道　19—月牙板　20—出钢槽

（1）炉体、炉盖及其连接

1）炉体。电弧炉的炉体外壳由钢板焊成，内部砌筑耐火材料。耐火材料采用镁砖和粘土砖，镁砖的内面用卤水镁砂（或焦油镁砂）打结炉衬。砌成的碱性电弧炉炉体的剖面如图 2-2 所示。



a)　　　　b)

图 2-2　碱性电弧炉炉体砌筑剖面示意图

a）阶梯式　b）平滑碟式

1—炉壳钢板　2—8～15mm 厚石棉板（补偿耐火砖受热膨胀并绝热用）　3—厚 115mm 侧砌镁砖　4—厚 115mm 直砌镁砖　5—厚 65mm 平砌粘土砖（绝热用）　6—打结镁砂层

2）炉盖。碱性电弧炉炉盖外沿是用钢板焊成的、空心的、内部通水冷却的炉盖圈，炉盖圈内用高铝耐火砖砌成。砌成的电弧炉炉盖如图 2-3 所示。

此外，还有以下结构形式：①用高温水泥和高铝矾土捣制的炉盖；②用铝镁浇注料浇筑的整体炉盖；③由钢板焊成的内壁附耐火涂层的水冷炉盖。

3）炉盖与炉体的连接。炉盖与炉体的连接普遍采用密封效果很好的砂封方式，如图 2-4 所示。

（2）电弧炉短网结构　电弧炉短网（又称大电流电路），是指从电弧炉变压器的低压出线端到电极的各种形式导体的总和。电弧炉短网的结构如图 2-5 所示。

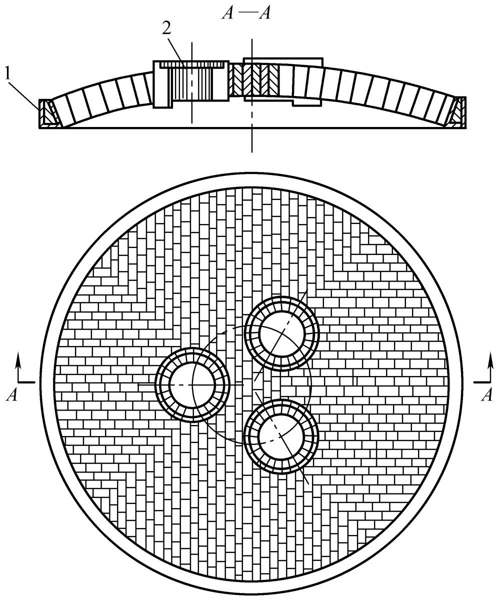


图 2-3　砖砌电弧炉炉盖

1—炉盖圈　2—电极孔砖

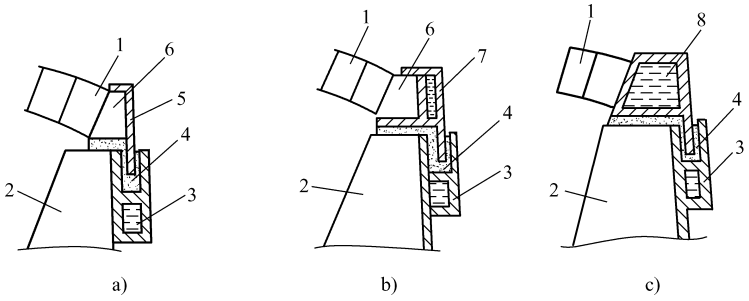


图 2-4　炉体与炉盖的连接
a）垂直型炉盖圈　b）直角型水冷炉盖圈　c）斜型水冷炉盖圈
1—炉顶　2—炉墙　3—水冷加固圈　4—砂封圈　5—垂直型炉盖圈　6—拱角砖
7—直角型水冷炉盖圈　8—斜型水冷炉盖圈

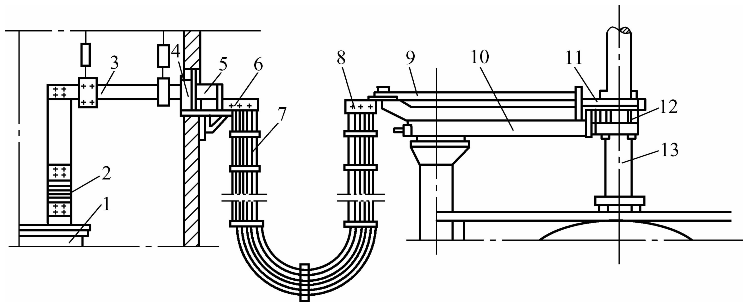


图 2-5　电弧炉短网（大电流电路）结构
1—变压器　2—软性补偿器　3—软母线排　4—电流互感器　5—母线连接处
6—谷底连接板　7—绕性电缆　8—可动接线板　9—导电铜管　10—电极横臂
11—铜板连接部分　12—电极夹头　13—电极

2. HX 型三相电弧炉的型号

电弧炉有两种形式：炉体开出式顶装料型和炉盖旋转式顶装料型。小型电弧炉为炉体开出式，中、大型电弧炉为炉盖旋转式。炉盖旋转式电弧炉是我国炼钢用三相电弧炉的主要形式，见表 2-1。

表 2-1　炉盖旋转式顶装料（HX）型电弧炉的型号

型号	HX-1. 5	HX-3	HX-5	HX-10	HX-20	HX-30	HX-50	HX-75	HX-100
炉壳内径/mm	2200	2700	3240	3800	4200	4600	5400	5800	6400
额定容量/t	1. 5	3	5	10	20	30	50	75	100
变压器额定容量/kW	1250	2200	3200	5500	9000	12500	18000	25000	32000
电抗器额定容量/kW	200（内装）	250（内装）	320（内装）	350（内装）	400（内装）	—	—	—	—

（续）

型号	HX-1.5	HX-3	HX-5	HX-10	HX-20	HX-30	HX-50	HX-75	HX-100
变压器一次电压/kV	6 10	6 10	6 10	10	35	35 60 110	35 60 110	35 60 110	35 60 110
变压器二次电压/V	210 ~ 104	220 ~ 110	240 ~ 121	260 ~ 139	300 ~ 140	340 ~ 150	380 ~ 160	430 ~ 170	480 ~ 180
	4 级				13 级				
额定电弧电流/kA	3.4	5.78	7.7	12.2	17.32	21.2	27.34	33.56	38.5
频率/Hz	50								
石墨电极直径/mm	200	250	300	350	350	400 ~ 450	500	500	600
倾炉角(出钢方向/出渣方向)/(°)	45/14				45/12				
冷却水消耗量/(m^3/h)	14	15	20	25	53	80	93	100	—
金属结构重量/t	8	19	42	62	125	165	277	370	—
炉体总重量/t	16.6	37	66	91	192	243	372	500	—

2.1.2　炼钢用原材料

1. 金属炉料

包括：废钢、生铁、铁合金、脱氧剂等。

（1）废钢　废钢是电弧炉炼钢的主要材料，应符合 YB/4223—2004 的规定。合金废钢分七类。因废钢来源复杂，回炉碳钢和回炉合金钢应分类保管，以便在配料时，合理利用各种合金元素。废钢的硫、磷质量分数各小于 0.08%。废钢应预处理，清除表面泥沙和油污等。废钢中的封闭容器、易燃易爆物、放射性和有毒物品，应分别处理和清除。废钢应有合适的块度。

（2）生铁　炼钢用生铁应符合现行标准 YB/T 5296—2006 的规定，见表 2-2。铸造用生铁应符合现行标准 GB/T 718—2005 的规定，见表 2-3。一般要求生铁的 $w(P) < 0.1\%$，$w(S) < 0.05\%$。

表 2-2　炼钢生铁的牌号及化学成分（YB/T 5296—2006）

铁　　种		炼钢用生铁		
铁号	牌号	炼 04	炼 08	炼 10
	代号	L04	L08	L10

（续）

铁种			炼钢用生铁		
化学成分（质量分数，%）	C		≥3.50		
	Si		≤0.45	>0.45～0.85	>0.85～1.25
	Mn	一组	<0.40		
		二组	>0.40～1.00		
		三组	>1.00～2.00		
	P	特级	<0.100		
		一级	>0.100～0.150		
		二级	>0.150～0.250		
		三级	>0.250～0.400		
	S	特类	<0.020		
		一类	>0.020～0.030		
		二类	>0.030～0.050		
		三类	>0.050～0.070		

注：各号生铁的含碳量均不作为报废依据。需方对含砷量有特殊要求时，由供需双方协议规定。

表 2-3　铸造生铁牌号及化学成分（GB/T 718—2005）

牌号			Z14	Z18	Z22	Z26	Z30	Z34
化学成分（质量分数，%）	C		≥3.30					
	Si		≥1.25～1.60	>1.60～2.00	>2.00～2.40	>2.40～2.80	>2.80～3.20	>3.20～3.60
	Mn	1组	≤0.50					
		2组	>0.50～0.90					
		3组	>0.90～1.30					
	P	1级	≤0.060					
		2级	>0.060～0.100					
		3级	>0.100～0.200					
		4级	>0.200～0.400					
		5级	>0.400～0.900					
	S	1类	≤0.030					
		2类	≤0.040					
		3类	≤0.050					

（3）铁合金　加入铁合金的目的是调整钢液的化学成分。硅铁的牌号及化学成分见表2-4。锰铁的牌号和化学成分见表2-5。炼钢用主要铁合金与纯金属的标准见表2-6。电炉炼钢用铁合金的块度和烘烤要求见表2-7。

表 2-4　硅铁的牌号和化学成分（GB/T 2272—2009）

牌　　号	化学成分(质量分数,%)												
	Si	Al	Ca	Mn	Cr	P	S	C	Ti	Mg	Cu	V	Ni
		≤											
FeSi90Al1.5	87.0～95.0	1.5	1.5	0.4	0.2	0.040	0.02	0.2	—	—	—	—	—
FeSi90Al3.0	87.0～95.0	3.0	1.5	0.4	0.2	0.040	0.02	0.2	—	—	—	—	—
FeSi75Al0.5-A	74.0～80.0	0.5	1.0	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1	—	—	—	—	—
FeSi75Al0.5-B	72.0～80.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.040	0.02	0.2	—	—	—	—	—
FeSi75Al1.0-A	74.0～80.0	1.0	1.0	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1	—	—	—	—	—
FeSi75Al1.0-B	72.0～80.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.040	0.02	0.2	—	—	—	—	—
FeSi75Al1.5-A	74.0～80.0	1.5	1.0	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1	—	—	—	—	—
FeSi75Al1.5-B	72.0～80.0	1.5	1.0	0.5	0.5	0.040	0.02	0.2	—	—	—	—	—
FeSi75Al2.0-A	74.0～80.0	2.0	1.0	0.4	0.3	0.035	0.02	0.1	—	—	—	—	—
FeSi75Al2.0-B	72.0～80.0	2.0	—	0.5	0.5	0.040	0.02	0.2	—	—	—	—	—
FeSi75-A	74.0～80.0	—	—	0.4	0.3	0.040	0.02	0.1	—	—	—	—	—
FeSi75-B	72.0～80.0	—	—	0.5	0.5	0.035	0.02	0.2	—	—	—	—	—
FeSi65	65.0～72.0	—	—	0.6	0.5	0.040	0.02	—	—	—	—	—	—
FeSi45	40.0～47.0	—	—	0.7	0.5	0.040	0.02	—	—	—	—	—	—
TFeSi75-A	74.0～80.0	0.01	0.02	0.10	0.10	0.020	0.004	0.02	0.015	—	—	—	—
TFeSi75-B	74.0～80.0	0.10	0.05	0.10	0.05	0.030	0.004	0.02	0.04	—	—	—	—
TFeSi75-C	74.0～80.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.040	0.005	0.03	0.05	0.10	0.10	0.05	0.40
TFeSi75-D	74.0～80.0	0.20	0.05	0.30	0.10	0.040	0.010	0.02	0.04	0.02	0.10	0.01	0.04
TFeSi75-E	74.0～80.0	0.50	0.50	0.40	0.10	0.040	0.020	0.05	0.06	—	—	—	—
TFeSi75-F	74.0～80.0	0.50	0.50	0.40	0.10	0.030	0.005	0.010	0.02	—	0.10	—	0.10
TFeSi75-G	74.0～80.0	1.00	0.05	0.15	0.10	0.040	0.003	0.015	0.04	—	—	—	—

表 2-5　锰铁的牌号和化学成分（GB/T 3795—2006）

类　　别	牌　　号	化学成分(质量分数,%)						
		Mn	C	Si		P		S
				Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	
			≤					
低碳锰铁	FeMn88C0.2	85.0～92.0	0.2	1.0	2.0	0.10	0.30	0.02
	FeMn84C0.4	80.0～87.0	0.4	1.0	2.0	0.15	0.30	0.02
	FeMn84C0.7	80.0～87.0	0.7	1.0	2.0	0.20	0.30	0.02

（续）

类　别	牌　号	化学成分(质量分数,%)						
		Mn	C	Si		P		S
				Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	
			≤					
中碳锰铁	FeMn82C1.0	78.0～85.0	1.0	1.5	2.0	0.20	0.35	0.03
	FeMn82C1.5	78.0～85.0	1.5	1.5	2.0	0.20	0.35	0.03
	FeMn78C2.0	75.0～82.0	2.0	1.5	2.5	0.20	0.40	0.03
高碳锰铁	FeMn78C8.0	75.0～82.0	8.0	1.5	2.5	0.20	0.33	0.03
	FeMn74C7.5	70.0～77.0	7.5	2.0	3.0	0.25	0.38	0.03
	FeMn68C7.0	65.0～72.0	7.0	2.5	4.5	0.25	0.40	0.03
	FeMn78①	75.0～82.0	7.5	1.0	2.0	0.25	0.35	0.03
	FeMn73①	70.0～75.0	7.5	1.0	2.0	0.25	0.35	0.03
	FeMn68①	65.0～70.0	7.0	1.0	2.0	0.30	0.40	0.03
	FeMn63①	60.0～65.0	7.0	1.0	2.0	0.30	0.40	0.03

① 高炉锰铁，其余为电炉锰铁。

表 2-6　炼钢用主要铁合金与纯金属的标准

序号	铁合金	标　准	序号	铁合金	标　准
1	硅铁	GB/T 2272—2009	15	铬铁	GB/T 5683—2008
2	硅铬合金	GB/T 4009—2008	16	氮化铬铁	YB/T 5140—1993
3	硅钙合金	YB/T 5051—1997	17	高氮铬铁	YB/T 4135—2005
4	硅钙钡铝合金	YB/T 067—1995	18	金属铬	GB/Y 3211—2008
5	硅铝合金	YB/T 065—1995	19	镍铁	GB/T 25049—2010
6	稀土硅铁合金	GB/T 4117—2004	20	钛铁	GB/T 3282—2006
7	稀土镁硅铁	GB/T 4138—2004	21	钨铁	GB/T 3648—1996
8	锰铁	GB/T 3795—2006	22	钒铁	GB/T 4139—2004
9	微碳锰铁	YB/T 4140—2005	23	硼铁	GB/T 5682—1995
10	锰硅合金	GB/T 4008—2008	24	磷铁	YB/T 5036—1993
11	锰氮合金	YB/T 4136—2005	25	铌铁	GB/T 7737—2007
12	金属锰	GB/T 2274—2006	26	铜	GB/T 467—1997
13	电解金属锰	YB/T 051—2003	27	铝锭	GB/T 1196—1993
14	钼铁	GB/T 3649—2008			

表2-7　电炉炼钢用铁合金的块度和烘烤要求

合金	硅铁	锰铁	锰硅合金	铬铁	钨铁	钼铁	钒铁	铌铁	钛铁	硼铁	稀土硅铁
烘烤温度/℃	>800				200~400					<200	<200
烘烤时间/h	>2				≥2	>1	>1	>1	>1	>1	≥2
块度/mm	30~150				<100	<100	30~150	30~80	20~200	20~100	20~120

2. 辅助材料

（1）造渣材料、氧化剂、增碳剂（见表2-8）

表2-8　电弧炉炼钢用造渣材料、氧化剂、增碳剂

分类	名称	标　　准	主要成分（质量分数,%）	块度/mm	预热温度/℃	烘烤时间/h	干燥后水分（质量分数,%）
造渣材料	石灰	YB/T 042—2004	CaO>85	20~100	≥800	>4	<0.5
	萤石	GB/T 5195.1—2006	CaF_2>85	20~60	100~200	>8	<0.5
	石灰石	GB/T 3286.1—1998	CaO>51				
氧化剂	铁矿石	—	Fe≥55	30~100	≈600	>2	—
	氧化铁皮	—	Fe>70		≈600	>2	—
	锰矿石	YB/T 319—2005		3~7			
增碳剂	电极粉	YB/T 192—2001	C>95	0.5~1	60~100	>8	<0.5
	焦炭粉		C>80	0.5~1	60~100	>8	<0.5

（2）其他材料

1）石墨电极（YB/T 4088—1992），适用普通功率电弧炉。

2）氧气（GB/T 3863—2008），采用管道供氧，或汇流排供氧。

3）氩气（GB/T 4842—2006），氩气含量（体积分数,%）≥99.9。

3. 耐火材料

碱性电弧炉的耐火材料主要有镁砂、镁砖、镁碳砖、镁铬砖、碳砖、白云石及白云石砖等。用于砌筑、打结、修补炉底、炉墙和炉衬等。镁砂用的粘结剂是焦油沥青或卤水，打结炉衬时用焦油沥青，修补炉衬时用卤水。

所有原材料均有国家标准，铸造厂应针对产品对象，严格按标准中技术要求的质量指标采购供应，规范存放和管理，科学合理使用。优质的原材料是炼好钢的前提条件。

2.1.3　配料与调整成分计算

1. 炉料配料计算

配料主要是指确定炉料比例、配碳、控制硫和磷的含量。

（1）炉料的使用比例　在炉料供应正常的情况下，炉料的比例可参考表 2-9。

表 2-9　炉料的配比

序号	炉料种类	使用比例(质量分数,%)	说　明
1	浇冒口及废铸件	35～50	要求尽量少带泥沙等不洁物
2	钢屑	15～30	指切屑、薄钢皮、碎料
3	生铁	<15	指铸造生铁 Z20,或炼钢生铁 P08、P10
4	废钢	余量	指轧钢切头、锻钢料头、厚钢板边角料、废机器零件

注：生铁的配入量 $Q_{铁}$ 在生产中可用近似公式计算：$Q_{铁}=\dfrac{(C_{规格中值}+C_{氧化脱碳})\ Q_{炉料}}{C_{铁}}$

（2）配碳　即确定炉料的平均含碳量。

1）要求炉料的平均含碳量。炉料的平均含碳量等于钢的规格含碳量与氧化期脱碳量的总和。根据钢的用途和炉料条件，碳钢的氧化脱碳量如下：一般铸件大于等于 0.30%，重要铸件大于等于 0.40%，大修后第一炉大于 0.50%，中修后第一炉大于 0.40%。

2）核算炉料的平均含碳量。先凭经验，初步确定一个炉料比例，然后，根据下式核算炉料的平均含碳量 $C_{平均}$：

$$C_{平均}=\frac{C_{铁}\times Q_{铁}+C_{钢}\times Q_{钢}+C_{浇冒}\times Q_{浇冒}+C_{屑}\times Q_{屑}}{Q_{铁}+Q_{钢}+Q_{浇冒}+Q_{屑}} \tag{2-1}$$

式中　$C_{铁}$、$C_{钢}$、$C_{浇冒}$、$C_{屑}$——生铁、废钢、浇冒口、钢屑中碳的质量分数（%）；

$Q_{铁}$、$Q_{钢}$、$Q_{浇冒}$、$Q_{屑}$——生铁、废钢、浇冒口、钢屑的加入量（kg）；

$C_{平均}$——炉料的平均含碳量（%）。

当 $C_{平均}$ 大于配碳要求时，可适当减少生铁的加入量。

3）增碳材料加入量的计算。当 $C_{平均}$ 小于配料要求时，可用电极碎块（或焦炭粉、无烟煤碎块）作增碳材料，进行增碳。在计算增碳材料加入量时，将这些材料碳的质量分数按 100% 计。增碳材料加入量计算

$$Q_{碳}=(C_{配}-C_{平均})\times Q_{炉料} \tag{2-2}$$

式中　$Q_{碳}$——增碳材料加入量（kg）；

$C_{配}$——配料要求的平均碳的质量分数（%）；

$C_{平均}$——炉料实际的平均碳的质量分数（%）；

$Q_{炉料}$——炉料总重（kg），$Q_{炉料}=Q_{生铁}+Q_{废钢}+Q_{浇冒}+Q_{屑}$。

（3）控制炉料的磷、硫含量　一般规定，炉料中磷、硫的平均质量分数 ≤ 0.06%。以免因脱磷和脱硫量过多，而延长熔炼时间。

2. 炉前调整成分计算

（1）碳钢、低合金钢炉前调整成分近似计算

$$铁合金加入量(kg)=\frac{(规格要求成分中值\%-钢液中残余量\%)\times 装料量(kg)}{铁合金中合金成分\%} \tag{2-3}$$

一般情况下，钢液量≈装料量×95%。

例 1　熔炼碳钢，锰的规格中限成分 0.6%。装料量为 3000kg。还原期取样分析得知炉内钢液锰的质量分数为 0.5%，使用锰铁 FeMn65C7.0（GB/T 3795—2006），锰的质量分数为 65%，铸件成品率 97%，需加入多少锰铁?

解:

$$\text{锰铁加入量} = \frac{(0.6\% - 0.5\%) \times 3000\text{kg}}{65\%} = 4.6\text{kg}$$

即需加入锰铁 4.6kg。

例 2　熔炼低合金钢 ZG40Cr，装料量为 11000kg，还原期取样分析得知钢液中铬的质量分数为 0.35%，铬铁中铬的质量分数为 64%，铬的铸件成品率为 95%，要把钢液中铬的质量分数调到 1.00%，需加多少铬铁?

解:

$$\text{铬铁加入量} = \frac{(1.00\% - 0.35\%) \times 11000\text{kg}}{64\%} = 111.7\text{kg}$$

即把钢液中铬的质量分数调到 1.00%，需加入铬铁 111.7kg。

（2）高合金钢炉前调整成分近似计算　因合金元素的质量分数大，计算时要考虑规格合金元素的质量分数。

$$\text{合金加入量} = \frac{(\text{规格要求成分} - \text{钢液中残余量})\% \times \text{装料量 kg}}{(\text{合金成分} - \text{规格要求成分})\%} \tag{2-4}$$

例 3　熔炼 ZG12Cr18Ni9 高合金钢，装料量为 3000kg，还原期取样分析得知钢液中铬的质量分数为 17%，采用微碳铬铁 FeCr6（GB/T 5683—2008），铬的质量分数为 60%，铸件成品率 95%，规格铬的质量分数为 18.5%，问需加入多少铬铁?

解:

$$\text{铬铁加入量} = \frac{(18.5 - 17)\% \times 3000\text{kg}}{(60 - 18.5)\%} = 108\text{kg}$$

即需加铬铁 108kg。

2.1.4　氧化法炼钢过程及控制

氧化法可以熔炼碳钢、低合金钢和高合金钢。铸钢车间一般采用氧化法。碱性电弧炉氧化法炼钢过程：补炉、装料、熔化期、氧化期、还原期和出钢。为保证钢液质量，应重视熔炼过程的控制。

1. 补炉

每炼完一炉钢就应补炉。目的是修补被浸蚀和损坏的炉衬，以延长炉子寿命，保证安全生产。补炉材料和方法见表 2-10。

表 2-10　补炉材料和方法

补炉材料种类及名称		镁砂 粒度/mm	镁砂 温度/℃	卤水密度/(g/cm³)	沥青粒度/mm	配比（质量比）	混拌方法	应　　用
卤水镁砂（湿补材料）	卤水混合镁砂	0~8	—	>1.3	—	100:（8~10）	人工或用搅拌机	适于垫炉底下陷部位
	卤水镁砂粉	0.45~0.9	—	>1.3	—	100:（10~12）	混碾机	适于贴补渣线部位

（续）

补炉材料种类及名称		镁砂		卤水密度/(g/cm³)	沥青粒度/mm	配比（质量比）	混拌方法	应　用
		粒度/mm	温度/℃					
沥青镁砂（干补材料）	沥青凉镁砂	2~4	室温	—	0~8	100:(9~12)		镁砂可用熟白云石或过烧石灰代替
	沥青热镁砂	0~8	80~100	—	0~15	100:(9~12)		
补炉方法		1）工具：人工补炉用大铲贴补或用铁锹投补。机械补炉用压缩空气喷补或机械投补 2）操作原则：“高温、快补、薄补”，即趁炉衬还在高温时快速完成炉衬修补，以利于补炉材料自行烧结 3）操作顺序：出钢后开启炉门，升起电极，迅速扒净渣线、炉坡上残留的钢渣；然后，将炉体向出钢口方向倾斜10°~20°；投补出钢口两侧渣线，随后补好炉门两侧及渣线部位，再顺补其他损伤的地方						

2. 装料

补炉完毕即可装料。除0.5t小型电弧炉采用人工装料外，容量1.5t以上的电弧炉均采用装料罐从炉顶装料。装料时应做到“快速、密实、合理布料”。装料的操作要求见表2-11。

表2-11　装料的操作要求

装料要求		操作要点及控制
装料前	1. 先排除故障	装料前，先检查炉体、炉盖、冷却系统以及电气设备和机械装置是否正常。如有故障，应先排除故障后，再装料
	2. 先铺一层造渣石灰	为保护炉底，减轻炉料对炉底的冲击和提前造渣脱磷，可在炉底和炉坡处先均匀铺一层占炉料重量1%~2%的石灰，如炉料含磷较高时可加适量碎铁矿石
装料	3.“快速、密实、合理布料”	采用炉顶装料。预先将炉料按布料原则依次装入料罐。布料原则是：在料罐底部先装部分小块料垫炉底，然后将大块难熔的废钢装在电极下面的高温区，并用中块、小块料填实塞紧，随后装入生铁锭，最后装剩余的小块料。用于增碳的电极块和焦炭块应装在中、下部，以减少烧损，确保配碳的准确性。料罐应力求装得紧密，以利于导电、导热 核对配料单，检查料罐装料是否符合要求。然后，将料罐平稳、准确地吊入炉内，切勿碰撞炉壁、拉坏水箱，当料罐距炉底300~500mm时抽钎落料
装料后	4. 在炉料上面电极下的部位放数块焦炭	目的是便于起弧和稳定电弧
装料量	5. 应与电弧炉变压器的功率相匹配	装料量应与电弧炉变压器的功率相匹配。避免经常性地大幅超载装料，以免因延长熔炼时间而降低钢液质量和增加每吨钢电耗(kW·h/t钢)

3. 熔化期及控制

装料完毕，盖好炉盖，检查无误，即可通电熔化。

熔化期的特点是熔化所占时间最长（约占全部熔炼时间的 50% 以上），熔化所耗电量最大（占整炉钢用电量的 60% 以上）。熔化期的技术要求：一是加速熔化炉料并达到一定温度；二是脱出钢液中的部分磷，减少和防止钢液在熔化过程中的吸气和挥发；三是熔清碳应满足氧化脱碳要求。熔化期炉料熔化过程及控制见表 2-12。

表 2-12　熔化期炉料熔化过程及控制

熔化阶段	控 制 措 施	熔化过程及控制说明
送电		按照合理供电制度作业，缩短熔化时间
熔化初期	使用大功率，加快炉料熔化	开始电极下面的炉料先熔化，形成三个熔井，随之电极不断向下移动，经过 15 ~25min 即达最低位置，在电极下降过程中，炉子中心部位的炉料熔化形成三个小井(称穿井)。随着熔化进行，炉底钢液液面上升，为保持一定长度的电弧，电极必须相应地向上回升。于是电极周围的炉料塌落(称塌料)并熔化
	推料助熔	炉门、出钢口两侧及处于低温区的炉料，离电极较远不易熔化，可以人工用耙子将这些炉料推入熔池，加速熔化
	吹氧助熔	当炉料熔化 70% 或炉温升至 900℃后，可吹氧助熔，以加速熔化 吹氧管直径 3/4in 或 1in，吹氧压力为 0.5MPa。吹氧时将吹氧管从炉门插入钢液中，但不要深入到炉底或靠近炉壁，以免损坏炉衬。吹氧助熔能显著缩短熔化时间，又利于除气和排除夹杂物
熔池形成后	及时加入石灰造渣覆盖	炉料熔化后形成熔池。在炉料熔化过程中，炉料中的铁、硅、锰、磷等元素被氧化，生成的氧化物与石灰化合形成炉渣，覆盖在钢液表面，保护钢液不直接暴露在电极下吸气和氧化，并稳定了电弧，加速钢液升温和提前脱磷
		造渣材料主要是石灰造渣材料。除了在装料时已加入的一部分石灰外，当炉料熔化、电极开始下降时，再分批投入石灰，投入量占装料量的 1% ~2% 。当炉渣粘稠时为改善其流动性可加入适量氟石、氧化铁皮予以稀释
熔化末期	加入小块矿石以加速脱磷	在熔化末期，根据炉料含磷情况，可分批加入小块铁矿石，加入铁矿石总量为装料重量的 1% ~2% ，以加速脱磷
	取样分析 C	炉料熔化 90% 左右时，取样分析钢液中的碳元素含量

（续）

熔化阶段	控 制 措 施	熔化过程及控制说明
炉料熔清后	取样分析 C、Mn、P	炉料熔清后，充分搅拌熔池，从熔池中心取样，分析 C、Mn、P，并记录
	质量问题的补救措施	1）如磷含量过高，可带电放渣或扒渣。出渣后，随即加入石灰和氟石另造新渣 2）如钢液碳含量不足，进入氧化期前应先增碳。增碳材料有：①电极碎块（含硫较少，带入的夹杂物少，最纯净），吸收率为 70% ~80%；②低磷生铁（如铸造生铁 Z20，炼钢生铁 P08，P10 中含磷量为 1 级的生铁，以防磷过多），吸收率为 100%；③含低硫的焦炭碎块，吸收率为 50% ~70%；④无烟煤碎块，吸收率为 50% ~75%
	最后扒除大部或全部熔渣，并造新渣	炉料全部熔化后，熔化期即结束。这时炉渣中含有大量磷，应排放大部或全部炉渣，以防后期返磷。然后，及时投入石灰、氟石等造渣材料重新造渣

4. 氧化期过程及控制

加入氧化剂使钢液中的碳氧化，熔池产生沸腾的阶段，称氧化期。

氧化期的技术要求：脱磷；去除钢液中的气体和夹杂物，并将含碳量调整到所要求的成分范围和提高钢液温度。

实践经验得出：氧化期的渣量应保持为钢液重量的 2% ~3%；氧化顺序为先磷后碳；温度控制应先慢后快；造渣应先大渣量脱磷，后薄渣层脱碳；在供氧上先以矿石（或综合）脱碳为主，后以吹氧脱碳为主。

氧化期过程及控制见表 2-13。

表 2-13 氧化期过程及控制

阶段	控 制	过程控制说明
氧化期前期脱磷	钢液温度较低，造渣脱磷	氧化期前期，钢液温度较低（大约 1450℃），主要是造渣脱磷 熔化期结束加入的熔剂全部熔化后，立即加入质量分数为 1% 经烘烤的铁矿石，电压保持中档，勿使温度过快升高。必要时及时采取倾炉自动流渣（或扒渣），将高磷炉渣（$4CaO \cdot P_2O_5$）除掉以免后期返磷，并不断加入石灰、氟石补充渣量，保持炉渣高碱度、高氧化铁、流动性良好的炉渣 当磷的质量分数低于规格的一半以上时，结束脱磷操作

（续）

阶段	控　制	过程控制说明
氧化期中期脱碳	钢液温度提高后，进行氧化脱碳沸腾精炼，以去除钢液中的夹杂物和气体	脱磷结束后，待把钢液温度提高（1550℃以上）后开始脱碳操作 操作要点：采用"吹氧-矿石脱碳法"，分两三批加入铁矿石，在两批铁矿石之间吹氧，以提高钢液温度，促使钢液沸腾活跃、均匀，并在每次吹氧后自动流渣 当碳的质量分数脱到低于规格要求的下限时，停止加入铁矿石，转入静沸腾，让钢液静沸腾 5～15min（大炉取上限，小炉取下限），进一步净化钢液。必要时，可排放 1/3 左右渣量，使钢液在薄渣层下均匀静沸腾
	取样分析 C、P	沸腾结束，取样分析 C、P，应低于规格成分要求 终点碳的质量分数上限 = 规格碳的质量分数中值 - 0.07% 终点碳的质量分数下限 = 规格碳的质量分数下限 - 0.08%（适用于碳的质量分数大于 0.20% 的钢种） 终点碳的质量分数下限 = 规格碳的质量分数下限 - 0.06%（适用于碳的质量分数等于小于 0.20% 的钢种）
氧化末期	估碳	氧化末期，钢液中碳的质量分数（终点碳）是否进入规格，应及时判断，以便熔炼继续正常进行。除取样分析外，还可用经验方法（观察电极孔和炉门处的火焰、看钢液火花）和炉前快速分析仪
	测温	要求氧化末期钢液温度比出钢温度高出 20～30℃，至少应不低于出钢温度
	除渣	除渣条件：氧化末期，当钢液中碳和磷的质量分数、钢液温度均已达到要求时，可扒除氧化渣，进入还原期 除渣方法：在通电条件下放出质量分数为 60%～70% 的炉渣，然后升起电极，在停电的条件下，快速放出其余的炉渣，并立即造新渣
	碳不合格的补救措施	1）氧化末期未控制好，致钢液碳的质量分数过低时，可在扒渣后增碳。但限制增碳量：低中碳钢限制在 0.10% 以内，高碳钢限制在 0.15% 以内。增碳方法：①电极块增碳——块度 10～15mm，用前需烘干，扒渣后加在钢液面上。碳的吸收率在 80% 左右，带入钢液杂质少。②生铁增碳法——采用低磷生铁。应清洁无锈，用前需经烘干，扒渣后加入钢液中。碳的吸收率为 100%，易控制增碳量，但带入钢液杂质较多 2）如钢液碳的质量分数过高，可扒除大部氧化渣，在薄渣下吹氧，脱去多余的碳分 提示："扒渣增碳"和"薄渣吹氧"均延长熔炼时间，应尽量避免

5. 还原期过程及控制

炼钢过程中，继氧化期之后进行脱氧、脱硫和调整化学成分的阶段称为还原期。

还原期的技术要求：有效地脱氧、脱硫；并调整好钢液的其他化学成分和温度，使之达到出钢要求。还原期过程及控制如下：

（1）预脱氧　停电、扒出全部氧化渣后，首先应往熔池中加入块状锰铁进行沉淀脱氧，亦称预脱氧。以快速除去钢液中的部分氧化亚铁，为的是减轻后来通过炉渣进行脱氧的任务，加速整个还原期的过程。加入量按钢的规格锰的质量分数下限计入。在还原过程中炉渣中的氧化锰会有一部分被还原使钢液增锰，故预脱氧时加入锰量不宜过高，以防还原期末钢液锰量超出规格要求。

（2）造稀薄渣　在预脱氧锰铁加入之后，应快速加入稀薄渣料，造稀薄渣覆盖钢液表面。渣料配比（重量比）为石灰∶氟石∶碎耐火砖块 =4∶1.5∶0.2。总加入量为钢液重量的 2% ~3%。用大电压烧 10min 左右，使渣料迅速熔化成流动性良好的薄渣覆盖钢液，以减少钢液降温和吸气。

（3）造还原渣脱氧　稀薄渣形成后，随即造“还原渣”还原，即进行钢液的脱氧（扩散脱氧）。还原渣有两种：白渣和电石渣。白渣适用于熔炼含碳量较低[w(C) <0.35%]的钢种；电石渣适用于熔炼含碳量较高[w(C) >0.35%]的钢种。

白渣的造渣方法及调整见表 2-14，电石渣的造渣方法和调整见表 2-15。

表 2-14　白渣的造渣方法及调整

项目	操 作 要 点
造渣方法	1）先加入石灰、氟石，熔化后再加入碳粉 2）加入量：石灰 8 ~12kg/t 钢液，氟石 1 ~2kg/t 钢液，碳粉 1.5 ~2.0kg/t 钢液 3）操作：紧闭炉门，密封电极孔，使炉外空气不进入或少进入炉内，保持炉内足够的还原气氛，经 10 ~15min 后，渣料熔化成流动性良好的白渣
调整炉渣	随着还原过程的进行，炉渣的脱氧能力逐渐失去，为保持炉渣脱氧能力，需要补充渣料调整炉渣。方法是： 1）每隔 6 ~8min，加一批渣料 2）每批渣料加入量：石灰 4 ~6kg/t 钢液，硅铁粉 2 ~3kg/t 钢液，一直调整到形成良好的白渣为止。白渣的出现表明钢液中的 FeO 还原贻尽 3）钢液在白渣下的还原时间不少于 25 ~30min，以使充分脱氧和脱硫

表 2-15　电石渣的造渣方法和调整

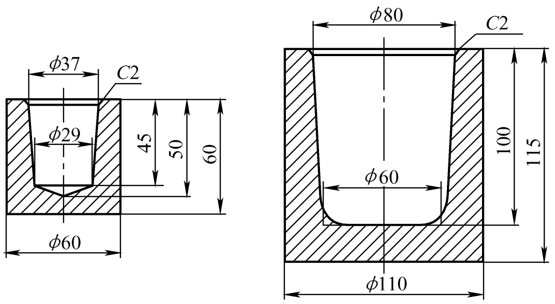
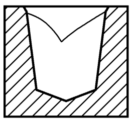
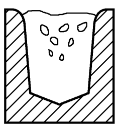
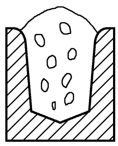
项目	操 作 要 点
造渣方法	1）先加入石灰、氟石，熔化后再加入碳粉 2）总加入量：石灰 8 ~12kg/t 钢液，氟石 1 ~2kg/t 钢液，碳粉 4 ~5kg/t 钢液 3）操作：渣料加入后，紧闭炉门，密封电极孔，加大电流还原 15 ~20min

（续）

项目	操 作 要 点
调整炉渣	随着还原反应的进行，炉渣脱氧能力逐渐失去，此时需要补充渣料调整炉渣，以保持炉渣的脱氧能力。方法是： 1）每隔 8 ~ 12min，加入一批渣料 2）每批渣料：石灰 4 ~ 6kg/t 钢液，碳粉 1 ~ 2kg/t 钢液，调整过程一直进行到形成良好的电石渣为止 3）钢液在良好的电石渣下的还原时间为 15 ~ 25min 4）将电石渣变为白渣。电石渣较粘，不易与钢液分离，浇注时易进入铸型，因此，必须将电石渣变成白渣。其方法是：将炉门打开，让空气进入炉内，使渣中的电石被空气中的氧所氧化而变成白渣（即石灰）

（4）脱氧质量检验与脱硫　脱氧质量检验：取钢液浇注圆杯试样判断脱氧质量。圆杯试样的铸型一般用钢制成，也有用砂型的。圆杯试样铸型结构与脱氧质量判断见表 2-16。

表 2-16　圆杯试样铸型结构与脱氧质量判断

圆杯试样铸型结构			
圆杯试样剖面			
试样顶面特征	凹陷显著	凹陷不明显或不凹陷	凸起
脱氧质量	良好	不良	很差

脱硫：脱硫主要靠还原期完成。脱硫的必要条件是：①脱氧要好。还原期钢液脱硫与脱氧有连带关系，钢液氧的含量高，则硫也不容易去除。因此，为了脱硫，钢液的脱氧要好，降低钢中的含氧量；②钢液温度要高；③炉渣碱度要高（即要有足够的氧化钙浓度），还原性要好（即氧化铁浓度要低），渣量要大，而且流动性良好。当还原期具备这些脱硫必要条件时，就能将钢液中硫脱到很低的程度。

操作中，高的炉温（还原期中基本保持熔炼过程在钢液出钢温度条件下进行）下，造好低氧化铁［白渣下要求炉渣中 $w(\mathrm{FeO}) \leqslant 0.8\%$，电石渣下要求渣中 $w(\mathrm{FeO}) \leqslant 0.5\%$］、高碱度（碱度 $R = \mathrm{CaO/SiO_2} \approx 3$）时，含硫量最低［$w(\mathrm{S}) \approx 0.005\%$］。

此外，炉渣粘度大则脱硫慢，用铁钎蘸渣，粘渣厚度为均匀的3mm时粘度最好，脱硫快。因此，良好流动性的还原渣有利脱硫。渣量一般应保持为钢液重量的2.5%～3.5%（如还原期开始硫的质量分数大于0.06%时，应当适当增大渣量）。加强搅拌钢液和推渣操作，以加速渣钢反应，尽量多地将硫去除。

（5）测温　还原期末钢液含氧和硫的质量分数已达到合格要求，可进行测温。钢的出炉温度是熔炼过程控制钢液温度的基本依据。出炉温度由下式决定：

出炉温度 = 浇注温度 + 出钢过程温降 + 钢包中停留温降

碳钢铸件的浇注温度见表2-17。

不同钢液量条件下出钢温降和钢包中的降温速度参考值见表2-18。

钢液重量为3～5t、出钢后钢液在钢包中静置5min后开始浇注的条件下，钢液的出炉温度见表2-19。

表2-17　碳钢的浇注温度

钢中碳的规格成分（质量分数,%）	浇注温度/℃	钢中碳的规格成分（质量分数,%）	浇注温度/℃
0.10～0.20	1540～1560	0.40～0.50	1510～1530
0.20～0.30	1530～1550	0.50～0.60	1500～1520
0.30～0.40	1520～1540	—	—

表2-18　出钢温降和钢包中的降温速度

钢液重量/kg	1	3	5	10	15	注
出钢温降/℃	80～100	70～90	60～80	50～70	40～60	出钢温降系指包衬烘烤至暗红色约700℃条件下，自钢液出炉时起，至注满钢包时为止的钢液温度降低值
钢包中的降温速度/(℃/min)	4～6	3～4	2～3	1.8～2.5	1.5～2	钢包中降温系指出钢后钢液在包中静置5～7min期间和浇注过程中包内钢液散热而引起的温降

表 2-19　碳液的出炉温度

钢中碳的规格成分（质量分数,%）	出炉温度/℃	钢中碳的规格成分（质量分数,%）	出炉温度/℃
0.10～0.20	1620～1640	0.40～0.50	1590～1610
0.20～0.30	1610～1630	0.50～0.60	1580～1600
0.30～0.40	1600～1620	—	—

测温方法有：热电偶高温计炉内测温；光学高温计测温；钢液结膜测温法；钢液粘勺测温法；钢棍测温法等。

（6）调整化学成分　当钢液温度达到出钢温度要求时，可以调整钢液的化学成分。熔炼碳素钢时加入适量的锰铁和硅铁来调整钢液的锰和硅的质量分数；熔炼合金钢时，除硅、锰外，还要调整其他合金元素的含量。化学成分调整须在良好的白渣下进行，如果造的是电石渣，须变成白渣后再进行化学成分调整。

（7）终脱氧　当钢液的化学成分符合规格要求，并达到出钢温度时，可以插铝进行最后的脱氧，即“终脱氧”。如果钢液是用于浇注铸件，湿型时加铝量为钢液重量的0.15%，干型时加铝量为钢液重量的0.1%。用铝脱氧操作，常用插铝法——将铝块插入炉内钢液中进行脱氧，其效果较好。插铝时必须停电操作以确保安全生产。

6. 出钢及控制

终脱氧后，应及时停电，准备出钢。出钢前应做到：

1）先将堵出钢口的材料掏出，清理干净出钢口和出钢槽。

2）准备好各种工具和钢包。钢包必须清洁，必须充分干燥，并烘烤至暗红色或红色（700～1000℃）。

3）由专人负责倾炉出钢。

出钢方式有两种：一种是钢、渣分出，即先扒除炉渣，然后再倾炉出钢。避免钢液与炉渣相混的过程，钢液中夹杂物数量较少，钢液质量高，但出钢时间较长，扒渣操作劳动条件较差。适用于高级优质钢。另一种是“大口出钢、钢渣混出”，即不扒出炉渣，出钢时流柱要粗，不能散流，使炉渣随钢液一起倾入钢包中，从而使钢液充分搅拌，增加接触面积，进一步脱硫。一般铸件采用钢渣混出。

钢液全部出完后，在钢液表面覆盖保温材料。在盛钢桶中镇静5min后，开始浇注。

2.1.5　氧化法炼钢的合理供电制度

1. 电弧炉的主要电路及主要电气装置

（1）三相电弧炉的主要电路（图2-6）　高压供电线路的电压一般为3300V或10000V。高压线路的电流经过空气断路器、高压油断路器、塞流线圈（电抗）、电压切换开关而接在电炉变压器的一次绕组上，经过降压以后，由变压器的二次绕组以低电压（127V、220V等数档）供给电极。

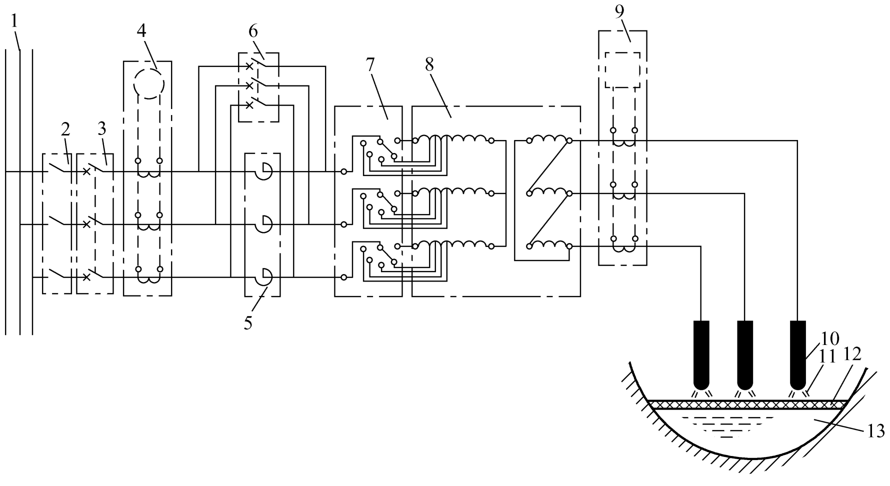


图 2-6　三相电弧炉的主电路图

1—高压线路　2—空气断路器　3—高压油断路器　4—高压部分电压电流测量装置　5—塞流线圈（电抗）　6—塞流线圈切换开关　7—电压切换开关　8—电炉变压器　9—功率自动调节装置　10—电极　11—电弧　12—炉渣　13—钢液

（2）电气系统中的主要装置及作用（见表 2-20）

表 2-20　三相电弧炉电气系统主要装置及其作用

图 2-6 中的序号	装置名称	作　　用
2	空气断路器	电路开关。经常是闭合的。只有在修理电炉停电时，方才断开
3	高压油断路器	炼钢过程中，接通或断开电源时使用。需要经常接通或断开。炼第一炉钢的过程中，往往要开闭几次。断路器中的耐高压的绝缘油有熄弧作用
4	电流电压测量装置（高压部分）	显示高压电路中的电流与电压
5	塞流线圈（电抗）	1）电流通过时，起到阻抗的作用。熔化期中当炉料崩料时，发生短路，塞流线圈产生反电动势，限制电流过大，起保护电气设备的作用 2）起稳定电流的作用
6	塞流线圈切换开关	往高压电路中插入或切除塞流线圈用
8	电炉变压器	为适应电弧炉熔炼的需要，比一般电力变压器的过负荷能力大，并能经受得住冲击电流和短路电流的作用
9	功率自动调节装置	根据电极电流的反馈，在一定范围内自动调节供电功率，并起稳定电弧的作用

注：对于变压器额定容量大于等于 9MW，或炉子吨位大于等于 20t 的电弧炉，其短网阻抗相对值大于 30%，则一般不再安装塞流线圈（电抗器）了。

2. 氧化法炼钢的合理供电制度

为保护电气设备，在熔化期中穿井和塌料时，必须带上塞流线圈（电抗器）。电极自动调节系统的稳定性较高时，应尽早切除电抗器，以减少无功损失。熔化期用大功率，氧化期用中等功率，还原期用较小功率。氧化法炼钢的合理供电制度见表 2-21。

表 2-21　氧化法炼钢的合理供电制度

阶段	序号	时间	条件	供电制度		说明
				电压	电流	
熔化期	1	点弧时	炉料上层是钢屑或轻薄料	高	—	钢屑和轻薄料的导电性较差
			炉料上层是重、实料	低	—	
	2	开始熔化阶段	电弧埋入炉料前	低	小	电弧降低炉盖寿命
			电弧埋入炉料后	高	大	
	3	熔化过程中	电极第一次降到炉底时	低	小	高电压电弧对炉底的灼热能力强，机械冲击力大，容易引起炉底过热和起坑，特别是轻薄料多，熔池中钢液少时，炉底更易于过热和起坑
			三根电极降到炉底后 10 ~ 15min 起至炉料熔清	高	大	
	4	炉料熔清后	熔化过程中用吹氧助熔	高	大	采用吹氧助熔能使炉渣发泡，泡沫渣包裹住电弧，炉盖灼热程度轻；不用吹氧助熔时，炉渣不发泡，电弧的高温损伤炉盖
			熔化过程中不用吹氧助熔	低	小	
氧化期	5	吹氧时	吹氧脱碳法	高	大	吹氧后期如钢液温度过高，可低电压吹氧
	6	吹氧后	吹氧脱碳法	低	小	
	7	矿石沸腾	矿石脱碳法	高	大	矿石沸腾不宜用低电压，因低电压电弧的热影响区小，熔池不能全面被加热，易使熔池边缘部分钢液脱碳困难
	8	纯沸腾	矿石脱碳法	低	小	
还原期	9	还原初期	扒除氧化渣并加入稀薄渣料后	高	中	使用较大的功率，以加速渣料的熔化
	10	还原过程中	稀薄渣形成后直至还原终了	低	小	应避免在还原后期用高电压大功率进行钢液的提温，因高电压提温易造成炉渣温度过高（炉渣温度与钢液相差悬殊）的现象。出钢后，高温炉渣严重侵蚀钢包塞杆，甚至将塞杆熔断

2.1.6 碳钢、合金钢氧化法熔炼工艺

1. 铸造碳钢氧化法熔炼工艺（见表 2-22）

表 2-22 铸造碳钢氧化法熔炼工艺

时期	序号	工 序	操 作 要 点
熔化期	1	通电熔化	用允许的最大功率供电，熔化炉料。并修好炉门假门坎，清理、修理出钢槽
	2	助熔	推料助熔。熔化后期，加入适量渣料造渣。炉料熔化 60% ~80% 时，可吹氧助熔。熔化末期可适当减小供电功率。熔化末期陆续加入小块铁矿石或氧化铁皮，以加速脱磷
	3	取样、扒渣	炉料熔清后，充分搅拌钢液，取 1 号钢样，分析 C、P，如磷含量过高，可带电放出全部或大部分炉渣（以利脱磷），加入渣料（石灰和氟石）造新渣，保持渣量在 3% 左右。同时，炉前估碳，如碳低则进入氧化期前先增碳
氧化期	4	脱碳	当钢液温度≥1560℃时，可进行吹氧脱碳、吹氧-矿石脱碳或吹氧-氧化铁皮脱碳操作，吹氧压力为 0.6 ~1.0MPa，每吨钢液耗氧量（单独吹氧时）为 6 ~ $9m^3$
	5	估碳、取样	估计钢液含碳量降至低于规格下限 0.02% ~0.04% 时，停止供氧，充分搅拌钢液，取 2 号钢样，分析 C、P、Mn 含量
还原期	6	扒渣、预脱氧	除去全部氧化渣（除渣过程，先带电，后停电），加入锰铁、硅铁等一种或几种合金，并加入 2% ~3% 渣料（质量比为石灰: 氟石: 耐火砖碎块 =4: 1.5 : 0.2），造稀薄渣
	7	还原	稀薄渣形成后，加入还原渣料[冶炼 w(C) >0.35% 的钢种时造电石渣，冶炼 w(C) ≤0.35% 的钢种时造白渣]，恢复通电，进行还原。钢液在良好的还原渣下保持的时间一般应大于等于 20min
	8	取样	充分搅拌钢液，取 3 号钢样，分析 C、Si、Mn、P、S 含量，并取渣样分析
	9	调整成分	根据钢样分析结果，调整钢液化学成分（硅含量需于出钢前 10min 内调整）
	10	测温	测量钢液温度，要求达到出钢温度。并作圆杯试样，检验钢液脱氧情况
出钢	11	出钢	钢液温度符合要求，圆杯试样收缩良好时，停电，升高电极，插铝终脱氧，出钢

2. 低合金铸钢氧化法熔炼工艺

氧化法熔炼各种铸造低合金钢的方法与铸造碳钢相似，只是应注意掌握铁合金的加入量和加入时间。

（1）配料与装料

1）熔炼低合金钢的炉料配比见表 2-23。

2）铁合金配入量、加入时间及铸件成品率见表 2-24。
3）铁合金加入量的计算方法见 2. 1. 3 节。
4）炉料含碳量的确定方法见表 2-25。
5）炉料含磷量的平衡核算见表 2-26。
6）装料基本要求见表 2-27。

表 2-23　熔炼低合金钢的炉料配比

序号	炉料种类	比例（质量分数，%）
1	浇冒口及废铸件（只能用所炼钢种的浇冒口及废铸件）	35 ~ 50
2	钢屑（切屑、薄钢皮、碎料等）	<15
3	生铁（铸造生铁或炼钢生铁）	<15
4	废钢（本钢种的废钢，不要引入本钢种所不应含的合金元素）	余量

表 2-24　铁合金配入量、加入时间及铸件成品率

合金名称	化学成分（质量分数，%）	熔点 /℃	密度/（g/cm^3）	合金元素配入量	用　途	加入时间及条件	铸件成品率（%）
硅铁	45 ~ 75	1240 ~ 1330	5. 5 ~ 3. 5	中限配入	脱氧	造还原渣时加入硅铁粉	30 ~ 40
					调整含硅量或加入合金元素	出钢前 7 ~ 10min，在良好的白渣下加入	93 ~ 95
锰铁	76 ~ 98	1250 ~ 1314	7. 1 ~ 7. 2	中限或下限	预脱氧	扒除氧化渣后加入	85 ~ 90
					调整含锰量或加入合金元素	还原期中，在良好的白渣下加入	93 ~ 95
铬铁	60 ~ 70	1250 ~ 1680	6. 94 ~ 7. 29	中限或下限	加入合金元素	还原初期，还原后期调整	95 ~ 98
钼铁	50 ~ 80	1440 ~ 1750	9. 0	下限	加入合金元素，调整含钼量	随炉料装入或在熔化末期加入，还原期调整	95 ~ 98
钨铁	70 ~ 80	1600 ~ 2000	16. 4	上限或中限	加入合金元素，调整成分	氧化末期或还原初期加入，还原期调整（补加钨后须经 15min 以上才能出钢）	95 ~ 98
钛铁	20 ~ 40	1450 ~ 1580	6. 0	上限	加入合金元素	出钢前 5 ~ 10min 加入炉中，或出钢时加入盛钢桶中	40 ~ 70

（续）

合金名称	化学成分（质量分数,%）	熔点/℃	密度/（g/cm³）	合金元素配入量	用　　途		加入时间及条件	铸件成品率（%）
钒铁	40～50	1480～1540	7.0	上限	加入合金元素	出钢前5～8min加入	钢中 w(V)<0.3%时	80～90
							钢中 w(V)>1.0%时	95～98
硼铁	10～15	1380	7.2	上限	加入合金元素		出钢前3～5min加入；或在钢包1/3钢液时加入(块度20mm)	30～60
镍	>99	1425～1455	8.7	下限	加入合金元素		随炉料加入	98
							氧化期,还原期调整	95～98
铜		1098	8.7	下限	加入合金元素		熔化末期或氧化初期加入	95～98
铝	50～99	1150～660	4.9～2.7	上限	预脱氧		还原初期加入量 w(Al)>0.8%时	85
					加入合金元素		在钢液脱氧良好条件下,于出钢前8～15min,停电扒渣后,插铝	60～80
稀土合金					以加入量计算		出钢前2～4min	

表 2-25　炉料含碳量的计算方法

程序	计 算 项 目	计 算 方 法
1	规格成分含碳量下限	查所炼铸钢的牌号,找出化学成分的规格含碳量的下限值
2	在还原期炉渣使钢液增加的碳量	经验数据:0.02%～0.04%
3	铁合金带入的碳量	铁合金增碳量(%)=铁合金的含碳量(%)×铁合金的加入量(%)
4	氧化终点时的碳量	终点碳(%)=规格含碳量下限(%)-铁合金增加碳量(%)-(0.02～0.04)(%)
5	氧化脱碳量	在炉料条件较好条件下,氧化脱碳量取为0.30%～0.45% 采用铁矿石脱碳法时,取下限;采用吹氧脱碳法时,取上限
6	炉料含碳量	炉料应有的含碳量: 炉料平均含碳量(%)=氧化终点碳(%)+氧化脱碳量(%)

表 2-26　炉料含磷量的平衡核算

目　　的	熔炼各阶段含磷量的控制要求			
由于铁合金中一般都含有磷,尤其是锰铁中含磷较高,为防止由于铁合金使钢液增磷而造成磷含量出格,在配料时,应对钢液含磷量做仔细平衡核算	取样分析时间	配料时炉料平均值	炉料熔清时	氧化期末除渣时
	含磷量（质量分数,%）	≤0.05	≤0.02	≤0.015

表 2-27　装料基本要求

序号	基 本 要 求	目　　的
1	炉料块度、布料原则与熔炼碳钢一样	
2	先在炉底、炉坡加入质量分数为 1% ~2% 石灰后再装料	保护炉底,使在熔化期提前造渣脱磷
3	装料要求紧实	利于导电、导热
4	随炉料加入的合金(镍、铜等),要避开电弧区	减少合金元素的烧损

（2）低合金钢氧化法熔炼的工艺要求和出钢温度（见表 2-28）

表 2-28　低合金钢氧化法熔炼的工艺要求和出钢温度

<table>
<tr><th>序号</th><th>工艺要点</th><th>控制要求(质量分数)</th><th>说　　明</th></tr>
<tr><td>1</td><td>氧化脱碳量</td><td>0.30% ~0.45%</td><td>是指炉料较好的条件。当炉料条件较差时应适当增加脱碳量</td></tr>
<tr><td>2</td><td>氧化终点碳</td><td>比规格含碳量下限低 0.02% ~0.04%</td><td>指在还原期中加入的是低碳铁合金时的情况。如用高碳铁合金时,终点碳应再适当降低</td></tr>
<tr><td>3</td><td>还原渣种类</td><td>w(C)≤0.35% 的合金钢规定用白渣,要求炉渣中 w(FeO)≤0.8%
w(C)>0.35% 的合金钢可以用电石渣,要求炉渣中 w(FeO)≤0.5%</td><td>采用电石渣或弱电石渣时,在还原末期加硅铁调整成分前 5min,必须将电石渣变为白渣</td></tr>
<tr><td>4</td><td>终脱氧的插铝量(kg/t 钢液)</td><td>0.6 ~0.8</td><td>因某些合金元素(特别是钒、钛、硼)本身有脱氧作用,故终脱氧的插铝量比碳钢略低</td></tr>
<tr><td>5</td><td>出钢温度</td><td colspan="2">钢液重量为 3 ~5t,镇静 5 ~10min,浇注中、小型低合金铸件的出钢温度
<table>
<tr><th>钢号</th><th>出钢温度/℃</th><th>钢号</th><th>出钢温度/℃</th></tr>
<tr><td>ZG16Mn</td><td>1620 ~1640</td><td>ZG35CrMo</td><td>1600 ~1620</td></tr>
<tr><td>ZG20CrMo</td><td>1610 ~1630</td><td>ZG35MnSi</td><td>1590 ~1610</td></tr>
<tr><td>ZG20MnMo</td><td>1600 ~1620</td><td>ZG40Cr</td><td>1590 ~1610</td></tr>
<tr><td>ZG20MnSi</td><td>1600 ~1620</td><td>ZG5CrMnMo</td><td>1580 ~1600</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

（3）低合金钢 ZG20CrMo 氧化法熔炼工艺（见表 2-29）

表 2-29　低合金钢 ZG20CrMo 氧化法熔炼工艺

时期	序号	工　序	操作要点
熔化期	1	通电熔化	用允许的最大功率供电，熔化炉料
	2	助熔、加钼铁	推料助熔。熔化后期，加入适量渣料及矿石或氧化铁皮。炉料熔化 60% ~80%时，可吹氧助熔。熔化末期，加入钼铁，并改用较低的电压供电
	3	取样、扒渣	炉料熔清后，充分搅拌钢液，取 1 号钢样，分析 C、P、Mo，要求 w(C)≥0.40%，w(P)≤0.020%。符合要求时，带电放出大部分炉渣，加入渣料造新渣，保持渣量在 3%左右
氧化期	4	脱碳	当钢液温度≥1560℃时，即可进行吹氧脱碳，吹氧压力为 0.6 ~1.2MPa。当火焰大量从炉门口冒出时，停止供电，继续吹氧。每吨钢液耗氧量（单独吹氧时）为 6 ~9m^3
	5	估碳、取样、保持锰制度	估计钢液含碳量降至 w(C)=0.15%左右时，停止吹氧。充分搅拌钢液，取 2 号钢样，分析 C、P，要求 w(P)≤0.015%。加入锰铁，保持锰制度（注：对于碳含量低的钢，规定在氧化期末钢液中 w(C)≤0.20%时，在纯沸腾期间应保持 w(Mn)≥0.20%，即保持锰制度）
还原期	6	预脱氧	快速扒除大部分氧化渣，加入锰铁等合金预脱氧，并加入渣料造稀薄渣
	7	加铬铁	稀薄渣形成后，加入预热的铬铁
	8	还原	加入还原渣料，恢复供电，造白渣还原
	9	取样	铬铁熔毕，炉渣变白后，充分搅拌钢液，取 3 号钢样，进行全分析。并取渣样分析，要求渣中 w(FeO)≤0.8%
	10	调整成分	根据钢样的分析结果，调整钢液化学成分（含硅量须于出钢前 10min 内调整）
	11	测温	测量钢液温度，要求出钢温度 1610 ~1630℃。并作圆杯试样，检验钢液脱氧情况
出钢	12	出钢	钢液温度符合要求，圆杯试样收缩良好时，停电，升高电极，每吨钢液插铝 0.8kg 进行终脱氧，出钢

注：ZG20CrMo 钢氧化法熔炼工艺，可作为一般低合金钢熔炼时的参考。

3. 高合金钢氧化法熔炼工艺

（1）高锰钢氧化法熔炼工艺

1）ZGMn13 钢的化学成分见表 2-30。

2）配料、炉衬及装料要求见表 2-31。

3）ZGMn13 钢的熔炼要点见表 2-32。

4）ZGMn13 钢的氧化法熔炼工艺见表 2-33。

表 2-30　ZGMn13 钢的化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
规格成分	0.9～1.3	11.0～14.0	0.3～0.8	≤0.10	≤0.05	≤0.5	≤0.5
控制成分	0.9～1.1	12.0～14.0	0.3～0.5	≤0.06	≤0.05	≤0.5	≤0.5

注：高锰钢中的铬和镍属于杂质元素，是由炉料或炉衬带入的。

表 2-31　配料、炉衬及装料要求

项　目		要　求
配料	炉料	主要由碳素废钢组成
	熔清碳	炉料熔清时钢液中 w(C)≥0.5%，以保证氧化脱碳量≥0.30%
	炉料平均含磷量	炉料的平均磷含量应控制在 w(P)≤0.04%
	硅含量	硅含量控制在规格成分的下限
	锰铁	1）采用高碳锰铁、中碳锰铁、低碳锰铁配合使用 2）低碳锰铁较贵，尽量少用 3）锰铁在还原期中加入
炉衬条件		高锰钢出钢后，必须及时修补炉衬。大修后的前 5 炉（或中修后的前 3 炉）、炉役后期、炉衬状况不好时，应禁止熔炼。熔炼高锰钢时，炉衬状况应良好
装料要求		与碳钢熔炼相同

表 2-32　ZGMn13 钢的熔炼要点

序号	要　点		控 制 方 法
1	脱磷	熔化期脱磷措施	锰铁含磷量较高，又是在还原期加入，故在熔化期和氧化期中应尽量脱磷。方法如下： 1）尽量采用低磷炉料 2）装料前，先在炉底炉坡上加入质量分数 2%～3% 的石灰和质量分数 1% 的氧化铁皮（或铁矿石） 3）在熔化中，随时补加石灰和氧化铁皮或铁矿石，以形成高碱度、强氧化性炉渣，以利脱磷 4）熔化末期，采取自动流渣操作 5）熔清后，根据钢液的含磷量，扒除全部或大部炉渣
		氧化期脱磷措施	1）熔清后，钢液中含磷量仍较高，可在氧化期继续脱磷：分 2～3 批加入氧化铁皮（或铁矿石）调整炉渣，并自动流渣，直至含磷量达到要求 2）氧化期末，钢液含磷量 w(P)≤0.015% 时，才可以扒除氧化渣开始还原
2	加锰铁方法		1）锰铁的加入时间：在还原期、稀薄渣条件下加入 2）锰铁的块度：50～100mm 3）锰铁预热：预先烤红（≥800℃，≥2h），并趁红热状态加入，以加速其熔化 4）分批加入：锰铁加入量多，应分批加入。批量应根据炉温条件而定 5）充分搅拌：锰铁的密度大，易沉淀在炉底，故加每批锰铁后，应充分搅拌熔池

（续）

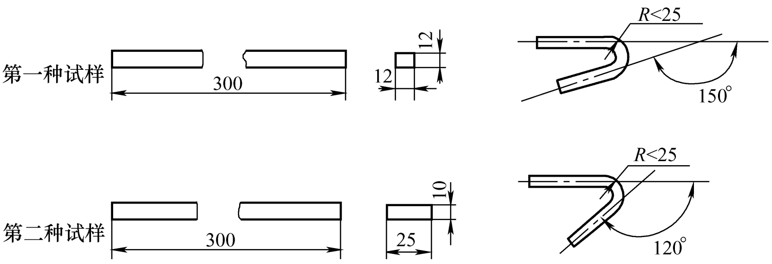
序号	要　点	控 制 方 法
3	脱氧方法	为保证高锰钢具有高韧性，要求对钢液进行充分的脱氧 1）脱氧：扒净氧化渣后，用锰铁、硅铁、铝块进行预脱氧，质量比例大致为锰铁∶硅铁∶铝＝5∶2∶1，每吨钢液锰铁用量5～10kg，这样既可避免合金化时锰铁大量氧化，又可减少钢中氧化物夹杂 2）扩散脱氧：先造电石渣，在电石渣下还原15min后将电石渣变为白渣，往渣面上适当加入炭粉、铝粉、硅钙粉强化脱氧。操作上要做到：密切注视炉内温度，控制好炉渣碱度（$R=3\sim4$）、流动性和渣量（渣量为钢液重量的4%～6%），保持炉内强还原气氛，勤推渣搅拌，促使熔池温度和成分均匀，扩大粉状脱氧剂与炉渣的接触面积
	脱氧质量检验方法	脱氧质量检验，除用圆杯试样检验外，还可用弯曲试样判断脱氧是否良好。方法如下： 弯曲试样呈长条状，与铸件同类铸型铸出。取钢液浇注试样，待试样凝固后，表面呈红黄色（700～800℃）时取出，淬入常温水中，冷却后，将试样弯曲至一定的角度，以试样的弯曲部分表面上不出现裂纹为脱氧质量合格的标准 弯曲试样有两种，如下图所示：  a) 弯曲前　　b) 弯曲后

表2-33　ZGMn13钢的氧化法熔炼工艺

阶段	序号	工　　序	操 作 要 点
熔化期	1	通电熔化	用允许的最大功率供电，熔化炉料
	2	助熔	推料助熔。熔化后期，加入适量渣料及铁矿石（或氧化铁皮）。炉料熔化60%～80%时，可吹氧助熔。熔化末期适当减小供电功率
	3	取样、扒渣	炉料熔清后，充分搅拌钢液，取1号钢样，分析C、P，根据含磷量的高低，确定扒除全部或大部分炉渣，并另造新渣
氧化期	4	氧化脱碳	当钢液温度大于等于1560℃，炉渣流动性良好时，可吹氧脱碳，氧气压力为0.6～1.0MPa
	5	估碳、取样	估计钢液含碳量降至w(C)＝0.22%左右时，停止吹氧。充分搅拌钢液，取2号钢样，分析C、P，要求w(P)≤0.015%，才可以扒除氧化渣

（续）

阶段	序号	工　　序	操 作 要 点
还原期	6	预脱氧	扒除全部氧化渣，每吨钢液加入预脱氧剂锰铁 5～10kg，及硅铁和铝块，加入稀薄渣料
	7	加锰铁、还原	稀薄渣形成后，加入烤红的锰铁，随即造电石渣还原，钢液在电石渣下还原 15min 后，将电石渣变为白渣
	8	取样	锰铁熔清后，经过充分搅拌钢液，取 3 号钢样，作全分析，并继续还原。取渣样分析，要求 w(FeO)≤0.5%
	9	调整成分	根据钢样的分析结果，调整钢液化学成分（含硅量在出钢前 10min 内调整）
	10	作弯曲试样	取钢液浇注弯曲试样，进行检验。如不合格，须继续还原一段时间，重作试验，直至合格为止
	11	测温	测量钢液温度，要求出钢温度 1470～1490℃。并作圆杯试样，进一步检验脱氧情况
出钢	12	出钢	钢液温度符合要求，圆杯试样收缩良好时，停止供电，升高电极，每吨钢液插铝 0.7kg 终脱氧，出钢，要求大口出钢、钢渣混出

注：由于高锰钢含碳量较高，采用电石渣还原。方法是：第一步加入全部（或大部）锰铁后，加第一批渣料。渣料组成为：
石灰 5～6kg/t 钢液、氟石 1～1.5kg/t 钢液、炭粉 2～3kg/t 钢液。渣料加入后，关闭炉门及出钢口，还原 20min 左右，形成电石渣。第二步电石渣形成后，加第二批渣料调整炉渣。渣料组成为：石灰 5～6kg/t 钢液、氟石 1～1.5kg/t 钢液、炭粉 1.5～2kg/t 钢液、硅铁粉 1.5～2kg/t 钢液。钢液在良好的电石渣下还原时间应不少于 15min。

（2）铬镍不锈钢的氧化法熔炼工艺　ZG12Cr18Ni9Ti 钢氧化法熔炼工艺可供熔炼 ZGCr13 型和 Cr-Ni-Mo-Ti 型不锈钢熔炼参考。

1）ZG12Cr18Ni9Ti 钢的化学成分见表 2-34。

2）配料、炉衬和装料要求见表 2-35。

3）不锈钢的熔炼工艺要点见表 2-36。

4）ZG12Cr18Ni9Ti 钢的氧化法熔炼工艺见表 2-37。

表 2-34　ZG12Cr18Ni9Ti 钢的化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	P	S
规格成分	≤0.12	≤1.5	0.8～2.0	17～20	8～11	C×(0.5～0.8)	≤0.04	≤0.03
控制成分	≤0.08	0.5～0.7	1.4～1.8	17.5～18.5	9～10	C×(0.5～0.7)	≤0.03	≤0.025

表 2-35　配料、炉衬和装料要求

要　点			控制措施
配料	炉料	生铁	低磷生铁
		废钢	低磷废钢
		钢屑	不用,或尽量少用
		配碳	炉料熔清时,钢液中 $w(\mathrm{C})>0.35\%$
	合金配入量和加入时间	镍	按电解镍规格成分中值配入。在装料时加入
		铬铁	采用微碳铬铁。在还原期加入
		锰铁	采用低碳锰铁,或金属锰。在还原期加入
		钛铁	按规格成分中值配入(铸件成品率按 60% 计)。出钢前 5 ~ 10min 加入
炉衬条件			1) 炉衬材料和补炉材料用卤水镁砂 2) 规定大修炉衬后的前五炉不许熔炼不锈钢 3) 熔炼铬镍不锈钢的前一炉,不宜熔炼高碳或高磷钢种(如 ZGMn13)
装料			1) 装料前,先在炉底和炉坡处加炉料重量 1% ~3% 的石灰和约 1% 的氧化铁皮 2) 镍加在炉底,并避开电极 3) 按布料原则装料

表 2-36　不锈钢的熔炼工艺要点

序号	工艺要点	控制方法
1	吹氧脱碳	熔炼低碳不锈钢,要求在氧化期末,把碳的质量分数控制在低于 0.05%(或 0.04%)。为此,在吹氧脱碳时,要用双管同时不间断吹氧,吹氧压力≥0.7MPa 为宜,以保证向熔池的供氧速度足够大,维持熔池足够高的含氧量,才能把碳降得很低
2	还原剂	采用硅钙粉和铝粉作还原剂。还原初期用硅钙粉,后期用由硅钙粉和铝粉(质量比大致为 1∶1)组成的混合还原剂进行还原
3	加铬铁方法	铬铁应预热到红热状态,在还原期钢液预脱氧后加入。一般分两批加入:第一批加入全部铬铁的 2/3,随即每吨钢液加入 3 ~ 4kg 的硅钙粉进行还原。待前一批铬铁熔清后,再加入其余的铬铁。全部铬铁熔清后,扒除绝大部分炉渣,补入新渣料,并用"硅钙粉 + 铝粉"混合还原剂进行还原,直到炉渣变白为止
4	加钛铁方法	加钛铁前应做到: 1) 严格控制钢液中 $w(\mathrm{Si})\leqslant 0.5\%$,以保成品钢 $w(\mathrm{Si})<1.0\%$ 2) 炉渣经过良好的还原[$w(\mathrm{FeO})\leqslant 0.5\%$,$w$(渣量)$\leqslant 3\%$] 3) 可往钢液中插铝(0.5kg/t 钢)脱氧,以提高钛的铸件成品率 4) 钛铁需烘干(200 ~ 400℃, >1h)。块度适当(20 ~ 200mm) 加钛铁应在出钢前 5 ~ 10min 内进行。有两种加钛方法:①扒渣加钛铁;②不扒渣加钛铁(此法钛的铸件成品率较低,尽量不用)。边推渣边加钛铁,以避免钛铁被裹在炉渣内。钛铁的密度较小,须用渣耙将钛铁压入钢液中 加钛铁应在停电状态下进行。加钛铁后也不再通电,搅拌熔池后,即可进行终脱氧和出钢

表 2-37　ZG12Cr18Ni9Ti 钢的氧化法熔炼工艺

阶段	序号	工　序	操 作 要 点
熔化期	1	通电熔化	用允许的最大功率供电，熔化炉料
	2	助熔	推料助熔。熔化后期，加入炉料重量 2% ~3% 的渣料，以及适量的铁矿石或氧化铁皮（加入量视炉料含磷量而定）。炉料熔化 60% ~80% 时，可吹氧助熔。熔化末期可适当减小供电功率
	3	取样、扒渣	炉料熔清后，搅拌钢液，取 1 号钢样，分析 C、P、Ni，要求 $w(C)=0.25\%$ ~0.45%，$w(P)\leqslant 0.010\%$，扒除全部炉渣，补入炉料重量约 2% 的渣料
氧化期	4	脱碳	测量钢液温度，当钢液温度≥1560℃时，即可进行吹氧脱碳，氧气压力为 0.6 ~1.2MPa。每吨钢液耗氧量为 12 ~ $18m^3$
	5	估碳、取样	当钢液含碳量降至 $w(C)\leqslant 0.10\%$ 时，升高电极，停止供电，继续吹氧。估计含碳量降至 $w(C)\leqslant 0.04\%$ 时，停止吹氧。搅拌钢液，取 2 号钢样，分析 C、P
还原期	6	预脱氧、加铬铁	扒除氧化渣，加入低碳锰铁和硅钙合金预脱氧，并加入渣料造稀薄渣。稀薄渣形成后，快速加入烤红的铬铁（全部加入量的 2/3），并加硅钙粉还原。恢复通电，用大功率熔化铬铁。待铬铁熔毕时，再加入剩余部分铬铁，继续加硅钙粉还原，适当减小供电功率
	7	取样、扒渣	全部铬铁熔毕，炉渣颜色由黑变绿时，取 3 号钢样，分析 C、P、Si、Mo，扒除大部分炉渣，补入新渣料，用混合还原剂进行还原。炉渣变白时，取渣样分析（FeO），要求以 $w(FeO)\leqslant 0.5\%$。测量钢液温度
	8	调整成分	根据钢样的分析结果，调整钢液化学成分，继续用混合还原剂进行还原
	9	加钛铁	测量钢液温度，当钢液温度达到 1640 ~1660℃时，制作圆杯试样。当试样收缩良好时，即可升高电极，停电，每吨钢液插铝 0.5kg，推开炉渣，加入钛铁
出钢	10	出钢	钢液化学成分和温度符合要求时，每吨钢液插铝 0.8kg 进行终脱氧，随即出钢

2.1.7　初炼钢液与炉外精炼

1. 初炼钢液

碱性电弧炉为盛钢桶精炼炉（LRF）提供的半成品钢液，称为初炼钢液。初炼钢液采用氧化法熔炼，熔炼工艺与碳钢熔炼工艺基本相同，但没有还原期和终脱氧，氧化期结束即出钢。

初炼钢液的技术要求：①脱除钢液中的磷；②粗调成分；③保证出钢温度。

初炼钢液熔炼操作要点见表 2-38。

表 2-38　初炼钢液熔炼操作要点

<table>
<tr><th>序号</th><th>工　　序</th><th>操 作 要 点</th></tr>
<tr><td>1</td><td>配碳</td><td>脱碳量≥0.20%即可(这是因为钢包精炼炉有较强的去气、去夹杂能力,所以对初炼钢液的脱碳量不做严格要求),炉料配碳量应适当降低</td></tr>
<tr><td>2</td><td>脱磷</td><td>加强熔化期和氧化前期的脱磷操作,以免氧化后期高温时回磷。初炼钢液磷含量控制要求如下:<table>
<tr><td>成品钢规格要求 w(P)(%)</td><td>≤0.015</td><td>≤0.025</td><td>≤0.040</td><td>≤0.050</td></tr>
<tr><td>初炼钢液要求 w(P)(%)</td><td>≤0.005</td><td>≤0.008</td><td>≤0.010</td><td>≤0.015</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>3</td><td>粗调钢液成分</td><td>在电弧炉把不易氧化的元素(Ni、Mo 等)调整进入成品规格中下限,而易氧化元素(Si、Mn、Cr、V 等)则在 LRF 钢包内调整</td></tr>
<tr><td>4</td><td>碳的控制</td><td>将初炼钢液碳含量控制在成品规格碳含量的下限左右。即按 w(C)=(规格上限-0.11%)~(规格上限-0.06%)控制,以避免增碳</td></tr>
<tr><td>5</td><td>脱氧</td><td>①为避免出钢时出钢槽翻钢,出钢前除去部分氧化渣;②加入锰铁、硅铁(或锰硅合金)脱氧,把钢液中硅、锰的质量分数调至0.10%~0.25%。以减轻 LRF 炉的脱氧负担;③条件许可时,可不脱氧直接出钢</td></tr>
<tr><td>6</td><td>出钢温度控制</td><td>由于电弧炉初炼钢液要先进入盛钢桶,再兑入 LRF 盛钢桶,故过程温降大(100~140℃),为避免温度过低,要求出钢温度≥1680℃为宜。如电弧炉初炼钢液直接进入 LRF 盛钢桶,过程温降小,则出钢温度≥1650℃即可</td></tr>
<tr><td>7</td><td>兑钢操作</td><td>为防止回磷,兑钢时,严禁电弧炉氧化性炉渣进入 LRF 盛钢桶</td></tr>
</table>

2. 炉外精炼

通常把用于钢液熔化和初炼的炼钢炉称为初炼炉，把用于钢液精炼的“盛钢桶”或者专用容器称为“精炼炉”。

炉外精炼的任务：主要是把初炼钢液转注到炉外精炼装置（盛钢桶或者专用容器）中，完成必要的精炼任务（脱硫、脱氧、去除非金属夹杂物、调整化学成分和温度等），以达提高钢液冶金质量和提高生产效率的目的。炉外精炼技术在航空、电站、化工、冶金、造船等工业广泛应用。

炉外精炼工艺的种类及应用见表 2-39。

表 2-39　炉外精炼工艺的种类及应用

序号	工 艺 种 类	代 表 形 式	应　　用
1	钢液滴流真空除气法	1）盛钢桶除气法(LD) 2）倒包除气法(SLD) 3）出钢除气法(TD)	适合于大型铸、锻件生产
2	真空提升法(DH)和真空循环除气法(RH)	1）真空提升法(DH) 2）真空循环除气法(RH)	适合于特殊钢及特殊铸钢件生产

（续）

序号	工 艺 种 类	代 表 形 式	应　用
3	盛钢桶精炼炉	1）LF(V)式盛钢桶精炼炉 2）ASEA-SKF 式盛钢桶精炼炉 3）真空电弧加热除气法(VAD)	一般与电弧炉双联生产高合金钢、各种重要用途的特殊钢。该法生产条件灵活，可用于钢液保温，以达到多炉合浇大型铸钢件的目的
4	氩氧脱碳和真空吹氧脱碳精炼法(AOD 法、VOD 法)	1）氩氧脱碳精炼法(AOD 法) 2）真空吹氧脱碳精炼法(VOD 法)	主要用于不锈钢、耐热钢、超低碳不锈钢的生产
5	其他炉外精炼法	1）盛钢桶喷粉精炼(TN 法、SL 法、CLE 法) 2）吹氩技术 3）盛钢桶喂线法	可以脱氧、脱硫、去除夹杂及夹杂物变性处理等

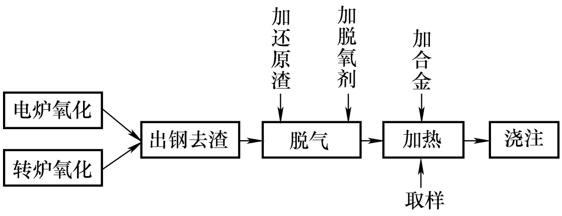
（1）LF（V）盛钢桶精炼炉　LF（V）盛钢桶精炼炉法是集电弧加热、氩气搅拌、炉渣精炼、真空除气四个功能于一体的盛钢桶精炼法。由于 LF（V）盛钢桶设备简单，投资费用低，操作灵活，精炼效果好，提高钢液冶金质量，夹杂物质量分数可下降 40%。因此，在冶金行业、机械行业得到迅速发展。

LF（V）炉主要由精炼盛钢桶、加热系统、吹气系统、真空抽气系统、控制系统、合金料加入装置、除渣装置、测温取样系统、集尘装置及其他特殊用途装置等构成。

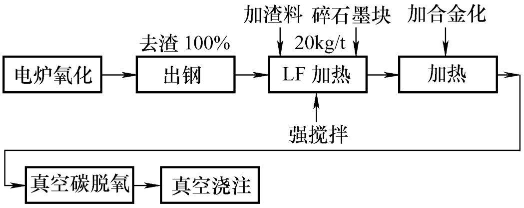
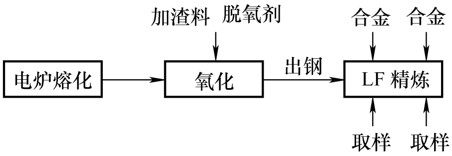
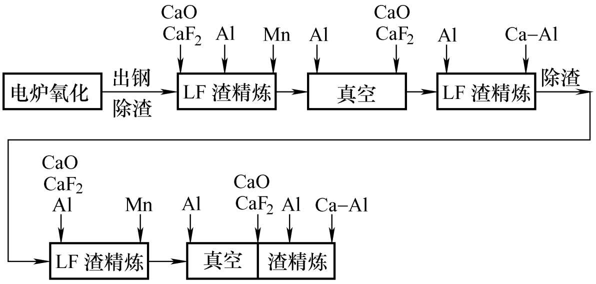
LF（V）炉有多种用途：①与电炉双联，加快电炉的生产周期并提高电炉钢质量；②具有钢液保温的性能，可利用小炉子生产大钢锭，或将一炉钢液浇注成数个成分不同的钢锭；③能准确调整钢液的成分和温度，对钢的淬透性有利；④能加热和对钢液保温，并能长时间存放钢液，保证连铸顺利进行，是连铸车间不可缺少的设备。

LF（V）炉的典型精炼工艺见表 2-40。

表 2-40　LF（V）炉的典型精炼工艺

序号	工艺名称	工 艺 过 程	工 艺 图 示
1	除气工艺	用该工艺生产一般合金钢 它是把初炼钢液倒入 LF 炉，并去掉氧化渣 50% ~90%，加还原渣料及脱氧剂，以便在真空脱气的同时进行还原精炼。此工艺脱氢效果很好，能防止氢致裂纹，钢液成分与温度能严格控制 缺点是未考虑彻底地脱硫与去除非金属夹杂物	 LF(V) 炉除气工艺

（续）

序号	工艺名称	工 艺 过 程	工 艺 图 示
2	真空碳脱氧工艺	电站、军工、航空等产品要求质量很高，因此，采用真空下碳脱氧的工艺来生产这种钢 LF 炉可采用在还原气氛下白渣扩散脱氧及强搅拌工艺，使钢中的氧含量大幅降低，再采用真空下碳脱氧工艺，最后进行真空浇注（MSD 法）	 LF 炉真空碳脱氧工艺
3	高合金工具钢（含高速钢）生产工艺	高合金工具钢含合金元素很高，这类钢的精炼采用单渣法 为回收合金元素，电炉出钢时的氧化渣不去掉，而是在 LF 炉内将它转换为还原渣。合金工具钢及高速钢一般采用此法生产	 LF 炉高合金工具钢工艺过程
4	低硫工艺	LF 炉内的脱硫反应，是靠炉内的还原气氛；在高碱度渣及强烈地吹氩搅拌条件下，通过多次渣精炼，多次除渣，达到降低硫含量的目的。其过程如下：  LF 炉低硫钢生产工艺	

（2）氩氧脱碳精炼法（AOD）和真空吹氧脱碳精炼法（VOD 法）

1）氩氧脱碳精炼法（简称 AOD）。AOD 法是将初炼钢液倒入 AOD 炉后，通过

AOD 炉侧壁下方的风口把被氩（或氮）稀释了的氧气，吹入熔池进行脱碳精炼。AOD 炉在不锈钢生产领域占据特别重要的位置。

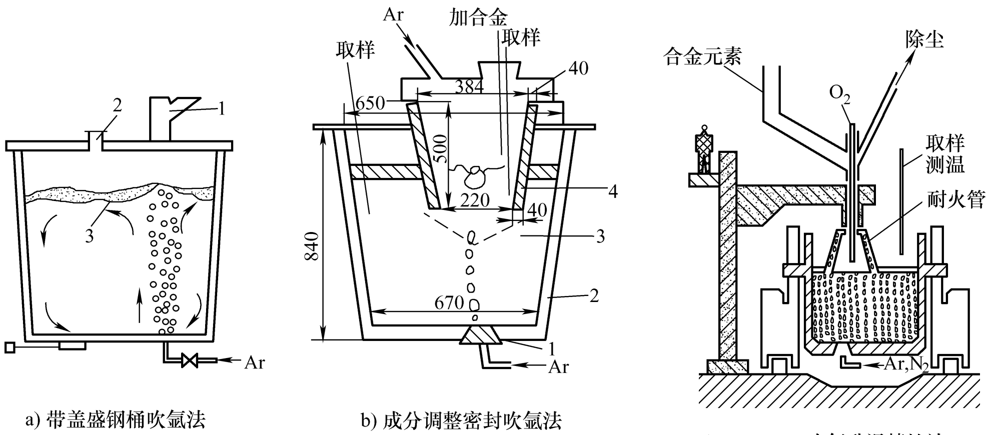
2）真空吹氧脱碳精炼法（简称 VOD）。VOD 法是在真空条件下，从盛钢桶顶部吹入氧气，同时，从盛钢桶底部通过多孔塞吹入氩气搅拌钢液，降低 CO 分压，加速 C－O 反应，可在抑制铬氧化的情况下，进行脱碳精炼。

VOD 法主要用于不锈钢的生产。

（3）吹氩技术　吹氩工艺具有设备投资少、操作成本低、操作简单等优点。钢液经吹氩搅拌后，可使大颗粒夹杂物减少，氧化夹杂物下降。带盖盛钢桶吹氩处理后，钢中夹杂物，特别是 Al_2O_3 夹杂物降低。吹氩处理过程中，会使加入的合金元素回收率提高。因此，广泛用于钢的温度调整和夹杂物去除。

1）吹氩类型见表 2-41。

表 2-41　吹 氩 类 型



a) 带盖盛钢桶吹氩法　　b) 成分调整密封吹氩法　　c) CAS－OB 吹氩升温精炼法

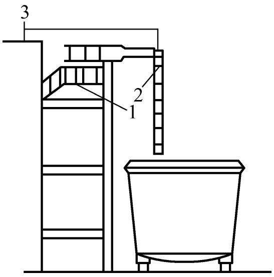
1—透气塞　2—盛钢桶　3—挡渣帽

4—高铝耐火管［$w(Al_2O_3)=85\%$，$w(SiO_2)=4\%$］

吹氩类型	特　　点
大气条件下盛钢桶吹氩	在大气压下，将氩气吹入盛钢桶内，进行氩气处理。可以均匀钢液温度和成分，减少钢中的氧化夹杂物含量，改善钢液的凝固性能
带盖盛钢桶吹氩	盛钢桶加了盖，防止了空气的进入，保证了桶内的还原气氛，有利于钢液的精炼及钢液质量的提高（图 a）
成分调整密封吹氩法	将一个带盖的耐火材料管，插入钢液内吹氩口的上方，并挡掉炉渣，底部透气塞吹氩，管内可加各种合金进行微合金化，此方法称为成分调整密封吹氩法（CAS 法）（图 b）
吹氧升温精炼法（CAS-OB）	在插入钢液中的耐火材料管盖上，插入氧枪，即为 CAS-OB 法。此法优点是可在精炼的同时加热钢液，以弥补钢液温度的不足（图 c）

2）盛钢桶吹氩方法见表2-42。

表2-42　盛钢桶吹氩方法

序号	吹氩方法	概　　念	图　　示
1	顶吹氩枪	吹氩枪由厚壁钢管和高铝（或粘土质）砖组成，顶端装有多孔塞砖。氩枪装在吹氩台的升降机上 吹氩台结构，如表图所示	 1—吹氩平台　2—氩枪　3—流量计
2	包底透气砖	吹氩用透气砖由高铝质（或镁质）材料制成 透气砖安装位置使用最多的是盛钢桶底半径的中心。此位置是搅拌钢液的最佳位置	

3）吹氩工艺参数见表2-43。

表2-43　吹氩工艺参数

序号	工序	参　　数	说　　明
1	吹氩压力	0.1～0.3MPa	大气下吹氩时，为达到搅拌钢液去除夹杂物的目的，并减少大气对钢液的二次氧化，则要求氩气压力不要太大。一般以能克服钢液的静压力，刚好能在透气砖表面形成气泡为宜。随钢液量不同，吹氢的压力不同
2	吹氩量	足够	盛钢桶加盖吹氩后，桶内气氛很快就变成还原气氛，故在钢液温度允许的条件下，可以适当增加吹氧量（或延长精炼时间） 足够的吹氩量，可以保证钢渣之间的良好搅拌，促进夹杂物上浮，特别是加速 Al_2O_3 的上浮速度
3	升温速度	5～13℃/min	CAS-OB加热，因为采用化学热法，故升温速度较快 每吨钢液升温所用的氧气用量：升温速度12.5℃/min时为13.4m^3/h，升温速度7℃/min时为10.72m^3/h

2.2　感应电炉炼钢

2.2.1　炼钢用感应电炉

1. 炼钢用感应电炉为无芯感应电炉

其分类见表2-44。

表 2-44　炼钢用无芯感应电炉的分类

分　　类	高　　频	中　　频	工　　频
电流频率	200 ~ 300kHz	1000 ~ 2500Hz	50Hz
电炉容量/kg	10 ~ 60	50 ~ 1000	100 ~ 10000

2. 无芯中频感应电炉的主要技术性能（见表 2-45）

表 2-45　无芯中频感应电炉的主要技术性能

序号	技术性能		电炉容量/kg			
			60	150	430	500
1	额定功率/kW		50	100	250	500
2	感应圈电压/V		750	1000	2000	2000
3	相数		1	1	1	1
4	频率/Hz		2500	2500	2500	1000
5	每千克钢液功率消耗/kW		0. 83	0. 66	0. 58	0. 55
6	工作温度/℃		1600	1600	1600	1600
7	熔炼时间/min		60	75	75	70
8	每吨钢液耗电量/kW · h		1000	950	940	770
9	耗水量/(m^3/h)		1	1	5	4. 5
10	坩埚尺寸	直径(炉口/炉底)/mm 高度/mm	ϕ220/ϕ170 360	ϕ275/ϕ225 520	ϕ430/ϕ380 555	ϕ560/ϕ480 800
11	炉体外形尺寸(长/mm)×(宽/mm)×(高/mm)		1245 × 1030 × 1096	1245 × 1030 × 1096	2280 × 1920 × 2180	2120 × 2700 × 3800

2. 2. 2　制备坩埚

1. 坩埚材料

（1）酸性坩埚耐火材料　采用为硅砂。粘结剂为硼砂。其化学成分要求如下：

硅砂（质量分数）：SiO_2 = 90% ~ 99. 5%，杂质限量 Fe_2O_3 ≤0. 5%，CaO ≤0. 25%，Al_2O_3≤0. 2%，水分≤0. 5%。

硼砂（质量分数）：B_2O_3≥98%，水分≤0. 5%，粒度 < 5mm。

酸性坩埚材料配比见表 2-46。

表 2-46　酸性坩埚材料配比

坩埚部位		炉衬材料				炉领(坩埚上口)材料		
硅砂	粒度/mm	5 ~ 6	2 ~ 3	0. 5 ~ 1	硅石粉	1 ~ 2	0. 2 ~ 0. 5	硅石粉
	配比（质量分数,%）	26	20	30	25	30	50	20

（续）

坩埚部位	炉衬材料	炉领（坩埚上口）材料
硼酸（质量分数，%）	1.7～2.0	1.7～2.0
坩埚材料配制方法	将“硅砂＋硼酸”干混，不加润湿剂	硅砂＋水玻璃10%（或粘土20%＋少量水玻璃）
坩埚打结方法	采用干法打结，以保证炉衬质量	湿法打结

（2）碱性坩埚耐火材料　采用镁砂。其组成见表2-47。碱性坩埚粘结剂及组成见表2-48。

表2-47　碱性坩埚用耐火材料

感应炉容量/kg	坩埚材料组成（质量分数，%）			粒度组成（质量分数，%）			
	镁砂（MS-88）	电熔镁砂	电熔氧化铝	5～20mm	3～5mm	1～3mm	<1mm
10～30	70～80	30～20	—	—	30	45	25
250～3000	50～20	50～80	—	20	25	35	20
≥1000	—	70～60	30～40	—	—	—	—

表2-48　碱性坩埚粘结剂及组成

序号	粘结剂名称	组成（占镁砂重量的百分数，%）			
		硼酸	水玻璃	粘土	氟石
1	硼酸粘结剂	1.5～2.5	—	—	—
2	水玻璃粘结剂	—	5	—	—
3	“水玻璃＋硼酸”粘结剂	1	5	—	—
4	“粘土＋硼酸”粘结剂	1.5～1.8	—	2～2.5	—
5	氟石粘结剂	—	—	—	5

（3）绝缘隔热材料　有石棉布、玻璃丝绝缘布，起绝缘、隔热作用。

（4）坩埚模样　打结坩埚时需用模样形成坩埚内腔形状。模样材质有两种：一种是钢模样，用钢板焊接或铸钢铸成中空模样（模壁上钻些ϕ3mm小孔）。钢模样在坩埚打结完了后不从坩埚中取出，使它在烘干和烧结坩埚时起电感应加热作用。在炼第一炉钢时，钢模样即随炉料一起熔化掉。

另一种是石墨模样，用石墨电极材料车制而成。坩埚打结完后，在烘干和烧结过程中不取出模样，以利用其电感应加热作用。待坩埚烧结好以后，再将模样取出。

2. 坩埚打结方法（见表 2-49）

表 2-49　坩埚打结方法

序号	工　序	操 作 要 点
1	放置绝缘、隔热层	在紧靠感应器内部放一层石棉板（或石棉布、玻璃丝布）绝缘层；在坩埚底部，放 2～3 层石棉板隔热层
2	炉底铺耐火材料	在炉底的石棉层上，铺 20～40mm 厚的一层坩埚材料，并捣实
3	放模样	对准中性线，放入模样，并将其固定
4	分批放坩埚材料并逐层捣实	分批加入坩埚材料，每批厚 20～30mm，并逐层捣实 1）小型坩埚——人工操作，用捣固叉进行捣固。由两人在对面同时进行操作，边捣边转动位置，以求各部位紧实度均匀 2）大型坩埚——用风动捣棒进行捣实 最不易捣实的部位是坩埚下部靠近炉底的锥体部分，需注意操作，务求捣实
5	感应器以上部分（坩埚上部）加固	针对酸性坩埚，当捣到感应器以上部位（坩埚上部）时，改用粘土（或水玻璃）的硅石粉加固混合料捣制

3. 坩埚的烧结（见表 2-50）

表 2-50　坩埚的烧结

150kg 感应电炉的烘炉规范（用电压调节器时）						
送电电压/V	130	220	220	260	380	380
送电时间/h	1.5	1.5	2	1	1	熔化
断电时间/h	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	—

150kg 感应电炉的烘炉规范（不用电压调节器时）							
送电电压/V	220	220	220	380	220	220	380
送电时间/h	1.5	2	2	0.5～1	2	2	熔化
断电时间/h	0.3	0.3	0.3	4～6	0.3	0.3	—

1500kg 感应电炉的烘炉规范						
烘炉时间/h	0～2	2～4	4～6	6～8	8～10	10～12
每 5min 内送电时间/min	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5

2.2.3　酸性感应电炉炼钢工艺

酸性感应电炉不适于用氧化法炼钢，不适于熔炼高锰钢、含铝和含钛的钢种。它不用扩散脱氧法而用沉淀脱氧法脱氧。

1. 酸性感应电炉的脱磷和脱硫方法

酸性感应电炉一般造酸性渣，不能脱磷和脱硫。如果炉料条件太差，必须脱磷和脱硫时，可采取短时间内造碱性脱磷渣或脱硫渣来处理钢液。其方法见表 2-51。

表 2-51 在酸性感应炉内脱磷、脱硫的方法

序号	项 目	脱 磷	脱 硫
1	造渣材料及加入量（占钢液重量的百分数，%）	碱性造渣材料（石灰∶氟石 =3∶1）加入3~3.5，氧化铁皮加入1~4	碱性造渣材料（质量比为石灰∶氟石 =3∶1）加入2.5~3，炭粉和硅铁粉加入1
2	处理时间	炉料熔毕后及时处理	还原末期进行处理
3	钢液温度条件	在较低的钢液温度（1520℃）下进行处理	在较高钢液温度（1580~1620℃）下进行处理
4	处理方法	在钢液温度为1520℃左右时，扒除原有炉渣，加入氧化铁皮，搅拌钢液，送电1~3min，升温至1540℃左右，加入碱性造渣材料并送电3~5min，然后降温至1480℃左右，扒净炉渣，再造酸性炉渣	出钢前4~5min，将配好的造渣材料加入炉内，送电2~3min，然后加入炭粉和硅铁粉，并及时出钢
5	较好的炉渣成分（质量分数，%）	$CaO=40\sim60$，$SiO_2=15\sim20$，$MnO=3\sim6$，$P_2O_5=0.5\sim2$（炉渣碱度 $R=2\sim2.5$）	$CaO=40\sim60$，$SiO_2=20\sim30$，$MnO=1\sim1.5$，$FeO<0.8$（炉渣碱度 $R=2\sim3$）
6	处理效果	脱磷效率15%~20%	脱硫效率30%~40%

2. 配料与装料

（1）配料 炉料的平均含碳量按规格成分下限配入；炉料中磷和硫的平均质量分数均应比规格成分限量值低0.005%~0.01%；酸性感应炉不氧化法炼钢的合金元素铸件成品率参考表2-52。

表 2-52 酸性感应炉不氧化法炼钢的合金元素铸件成品率

元素	合金名称	加入时间	合金元素铸件成品率（%）	元素	合金名称	加入时间	合金元素铸件成品率（%）
Ni	金属镍	装料时	100	Mn	锰铁	出钢前10min	90
Mo	钼铁	装料时	98	Si	硅铁	出钢前7~10min	100
W	钨铁	装料时	98	V	钒铁	出钢前7min	92~95
Cr	铬铁	装料时	95	—	—	—	—

（2）装料（见表2-53）

表 2-53 酸性（和碱性）感应电炉装料方法

感应电炉容量	合理布料原则与装量方法
中、小容量炉	在坩埚底部加小块料，小块料上加铁合金，上面加中块料。坩埚边缘部位加大块料，大块料的缝隙中塞小块料。炉料应装得紧，以利导磁和导电
大容量炉	采用料斗装料。料斗用钢板焊接而成，外形尺寸与坩埚内衬轮廓一致。在料斗预先装好料。料斗随炉料一起装入坩埚内，一起被熔化

3. 耐热钢 ZG16Cr25Ni20Si2 酸性感应电炉不氧化法熔炼工艺（见表 2-54）

表 2-54　耐热钢 ZG16Cr25Ni20Si2 酸性感应炉不氧化法熔炼工艺

阶段	序号	工　　序	操作要点
熔化期	1	通电熔化	开始通电时，供给 60% 左右的功率，待电流冲击停止后，逐渐将功率增至最大值
	2	捣料助熔	随着坩埚下部炉料熔化，经常注意捣料，防止“搭桥”，并陆续添加炉料
	3	造渣	大部分炉料熔化后，加入造渣材料（一般用碎玻璃）造渣，加入的质量分数约为 1.5%
	4	取样、扒渣	炉料基本上熔清时，取钢样进行全分析，并将其余的炉料加入炉内。炉料全熔后，减小功率，倾炉扒渣，并另造新渣
还原期	5	脱氧，调整成分	加入低碳锰铁和硅铁脱氧；并调整硅、锰含量，然后加入低碳铬铁调整含铬量
	6	测温，作圆杯试样	测量钢液温度（要求≥1550℃），并作圆杯试样，检查钢液脱氧情况
出钢	7	终脱氧，出钢	钢液化学成分及温度符合要求，脱氧情况良好时，每吨钢液插铝 1kg，进行终脱氧，停电，倾炉出钢

2.2.4　碱性感应电炉炼钢工艺

碱性感应电炉一般采用不氧化法炼钢，必要时也可采用氧化法炼钢，能脱磷和脱硫。钢液脱氧采用沉淀脱氧和扩散脱氧相结合的方法，可以熔炼碳钢和各种合金钢。

（1）碱性感应炉不氧化法熔炼时合金元素铸件成品率（见表 2-55）

表 2-55　碱性感应炉不氧化法熔炼时合金元素铸件成品率

合金元素	合金名称	加入时间	合金元素铸件成品率（%）	合金元素	合金名称	加入时间	合金元素铸件成品率（%）
Ni	金属镍	装料时	100	N	氮化锰	还原期（加稀土时）	40 ~ 50
Cu	金属铜	装料时	100		氮化铬	还原期（不加稀土时）	85 ~ 95
Mo	钼铁	装料时	100	V	钒铁	还原期	95 ~ 98
Nb	铌铁	装料时	100	Si	硅铁	出钢前 10min	90
W	钨铁	装料时	100	Al	金属铝	出钢前 3 ~ 5min	93 ~ 95
Cr	铬铁	装料时	97 ~ 98	Ti	钛铁	出钢前插铝终脱氧后加入	85 ~ 92
Mn	锰铁	装料时	90	B	硼铁	临出钢前加入，或出钢时加在盛钢桶内冲熔	50
	金属锰	还原期	94 ~ 97				

（2）碱性感应电炉的配料（见表2-56）

表2-56　碱性感应电炉的配料

元　　素		配料要求(质量分数)
C	采用不氧化法	炉料平均含碳量按规格成分下限配入
	采用氧化法	炉料平均含碳量为规格成分下限值+0.2%～0.3%(氧化脱碳量)
P		炉料平均含磷量<0.06%
S		炉料平均含硫量<0.05%

（3）装料　与酸性感应电炉相同。

1. 碳钢碱性感应电炉氧化法熔炼工艺（见表2-57）

表2-57　碳钢碱性感应炉氧化法熔炼工艺

阶段	序号	工　　序	操 作 要 点
熔化期	1	通电熔化	开始通电6～8min内供给60%左右的功率,待电流冲击停止后,逐渐将功率增至最大值
	2	捣料助熔	随着坩埚下部炉料熔化,随时注意捣料,防止“搭桥”,并继续添加炉料
	3	造渣	大部分炉料熔化后,加入造渣材料(质量比为:石灰粉:氟石粉=2:1)造渣覆盖钢液,造渣材料加入量为钢液重量的1%～1.5%
	4	取样,扒渣	约95%的炉料熔毕时,取1号钢样,分析C、P,并将其余5%的炉料加入炉内。全部炉料熔毕后,降低功率至40%～60%,倾炉扒除全部炉渣,并加入渣料重新造渣
氧化期	5	氧化脱碳	钢液化学成分(包括氧化脱碳量)符合要求,钢液温度大于等于1570℃时,进行氧化脱碳操作。脱碳可用吹氧法或矿石法
	6	估碳,取样	估计钢液含碳量达到规格成分的下限,停止供氧,取2号钢样,进行全分析
还原期	7	脱氧	渣料熔毕后,往炉渣面上加脱氧剂(质量比为:石灰粉:炭粉=2:1)进行扩散脱氧。脱氧过程中可用石灰粉和氟石粉调整炉渣的粘度,使炉渣具有良好的流动性
	8	调整成分	根据钢样分析结果,调整钢液化学成分,其中含硅量应在出钢前10min以内进行调整
	9	测温,作圆杯试样	测量钢液温度,并作圆杯试样,检查钢液脱氧情况
出钢	10	终脱氧,出钢	钢液温度达到出钢温度,圆杯试样收缩良好时,每吨钢液插铝0.8kg进行终脱氧,插铝后2～3min以内停电,倾炉出钢

2. 碱性感应炉不氧化法熔炼工艺

（1）ZGMn16Al3Si2钢碱性感应炉不氧化法熔炼工艺（见表2-58）

（2）铬镍不锈钢ZG12Cr18Ni9Ti碱性感应炉不氧化法熔炼工艺（见表2-59）

表 2-58　ZGMn16Al3Si2 钢碱性感应炉不氧化法熔炼工艺

阶段	序号	工　序	操作要点
熔化期	1	通电熔化	开始通电 6～8min 内供给 60% 左右的功率，待电流冲击停止后，逐渐将功率增至最大值
	2	捣料助熔	随着坩埚下部炉料熔化，随时注意捣料，防止“搭桥”，并继续添加炉料
	3	造渣	大部分炉料熔化后，加入造渣材料（质量比为：石灰粉：氟石粉＝2：1）造渣覆盖钢液，造渣材料加入量为钢液重量的 1%～1.5%
	4	取样，扒渣	约 95% 的炉料熔毕时，取钢样进行全分析，并将其余 5% 的炉料加入炉内。全部炉料熔毕后，降低功率至 40%～60%，倾炉扒渣，并另造新渣
还原期	5	脱氧	渣料熔毕后，往炉渣面上加脱氧剂（质量比为：石灰粉：氟石粉＝2：1）进行扩散脱氧。脱氧过程中可用石灰粉和氟石粉调整炉渣的粘度，使炉渣具有良好的流动性
	6	调整成分	根据化学分析结果，调整钢液化学成分，其中含硅量应在出钢前 10min 以内进行调整
	7	测温，作圆杯试样	测量钢液温度，并作圆杯试样，检查钢液脱氧情况
	8	插硅钙	钢液温度大于等于 1560℃，圆杯试样收缩良好时，插入质量分数为 0.2% 的硅钙进一步脱氧。然后往渣面上再加一次石灰粉-铝粉脱氧剂
	9	插铝	钢液温度高于等于 1580℃，除去全部炉渣，随即加入质量分数为 0.07% 的冰晶石粉并进行插铝（垂直插入炉底）
出钢	10	出钢	插铝后，搅拌钢液，停电倾炉出钢

表 2-59　铬镍不锈钢 ZG12Cr18Ni9Ti 碱性感应炉不氧化法熔炼工艺

阶段	序号	工　序	操作要点
熔化期	1	通电熔化	开始通电 6～8min 内，供给 60% 左右的功率，待电流冲击停止后，逐渐将功率增至最大值
	2	捣料助熔	随着坩埚下部炉料熔化，随时注意捣料，防止“搭桥”，并继续添加炉料
	3	造渣	大部分炉料熔化后，加入造渣材料（质量比为石灰粉：氟石粉＝2：1）造渣覆盖钢液，造渣材料加入量为钢液重量的 1%～1.5%
	4	取样，扒渣	约 95% 的炉料熔毕时，取钢样进行全分析，并将其余 5% 的炉料加入炉内。全部炉料熔毕后，降低功率至 40%～60%，倾炉扒渣，并另造新渣
还原期	5	脱氧	渣料熔毕后，往炉渣面上加脱氧剂（质量比为：石灰粉：铝粉＝2：1）进行扩散脱氧。脱氧过程中可用石灰粉和氟石粉调整炉渣的粘度，使炉渣具有良好的流动性
	6	调整成分	根据化学分析结果，调整钢液化学成分，其中含硅量应在出钢前 10min 以内进行调整

（续）

阶段	序号	工　序	操作要点
还原期	7	测温，作圆杯试样	测量钢液温度，并作圆杯试样，检查钢液脱氧情况
	8	加钛铁	钢液温度达到1630～1650℃，圆杯试样收缩良好时，扒除一半炉渣后，加入钛铁，并将钛铁压入钢液内
出钢	9	终脱氧，出钢	钛铁熔毕后，每吨钢液插铝1kg进行终脱氧，插铝后2～3min以内停电，倾炉出钢

2.3 冲天炉熔炼铸铁

2.3.1 冲天炉的技术要求

冲天炉的技术要求见表2-60。

表2-60　冲天炉的技术要求

序号	项　目	技术要求
1	铁液温度	熔化并过热铁液到所需的高温是冲天炉熔炼的重要指标。为保证铸件质量，要求出炉铁液温度控制在1450～1500℃
2	铁液化学成分	化学成分直接影响铸铁的铸造性能、力学性能、金相组织。因此，冲天炉熔化的铁液成分要符合规格要求。一般铸铁主要是控制C、Si、Mn、P、S五大元素的含量，而合金铸铁还应控制铁液中合金元素的含量
3	冲天炉熔化率	熔化率系指冲天炉每小时能够熔化金属炉料的重量。冲天炉熔化率必须与车间的造型能力和铁液用量相适应
4	燃料消耗	冲天炉燃料消耗一般用铁焦比来表示，它是冲天炉能源消耗的重要指标。其计算公式如下： $$总铁焦比=\frac{金属炉料熔化总量}{焦炭总用量}$$ 冲天炉铁焦比一般为(8～10)∶1。在保证铁液质量前提下，应努力提高铁焦比，降低焦炭消耗，节约能源
5	少污染	噪声和排放物严格控制在法定范围内。噪声应小于85dB，烟尘及生产中粉尘小于200mg/m^3

2.3.2 冲天炉的基本结构、参数及专用风机

1. 冲天炉的结构

冲天炉类型虽多，但其基本结构大致相同。图2-7为两排大间距冲天炉的基本结

构。由结构图看出：冲天炉主要由支撑部分、炉身部分、前炉部分、炉顶部分，以及相应的附属装置构成。其中对铁液质量关系密切的是炉身部分、前炉部分的结构参数和供风设备的选择。

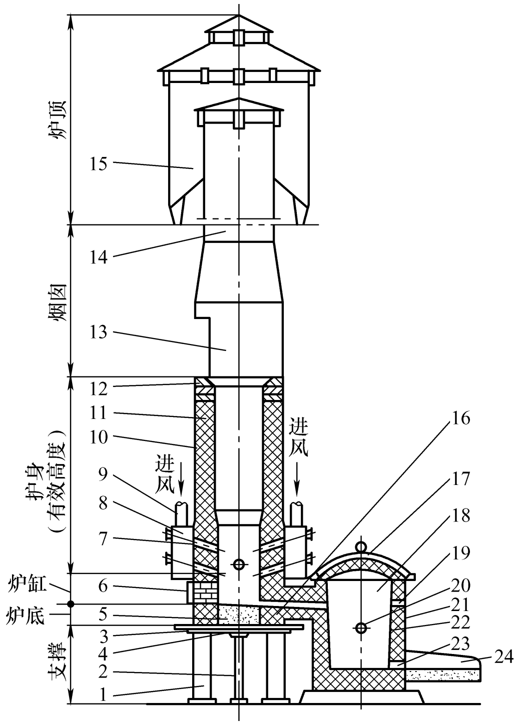


图 2-7　冲天炉的结构

1—炉腿　2—炉门支撑　3—炉底板　4—炉门　5—炉底　6—工作门　7—风口　8—风箱　9—进风管　10—炉壳　11—炉衬　12—铸铁砖　13—加料口　14—烟囱　15—火花扑灭器　16—过桥　17—前炉盖　18—前炉　19—过桥窥视孔　20—出渣口　21—前炉炉壳　22—前炉炉衬　23—出铁口　24—出铁槽

中小型冲天炉的各部组成及其作用见表 2-61。

冲天炉各部位的炉衬特点见表 2-62。

冲天炉炉衬的修理材料配方见表 2-63。

表 2-61　中、小型冲天炉的各部组成及其作用

名称	组成特点	作　用
炉底及支撑	炉底由支柱、炉底板、炉底门组成，炉底门有单扇和双扇两种结构形式 整炉座在炉底板上，通过四根炉腿支撑在炉基上。炉底板中心开设一个大圆孔，装有两扇半圆形带铰链的金属炉门。门合上后锁紧支牢。填砂捣实构成炉底。熔化结束，炉底门支柱拉倒，打开炉底门，捣破炉底，炉内剩余底焦和金属炉料坠落地面	承受炉子及炉料全部重量，方便清理余料和修炉

（续）

名称	组成特点		作用
炉体	炉体包括炉缸和炉身。炉体外壳用 6 ~ 12mm 厚钢板焊接而成。内砌耐火砖及耐火材料形成炉衬，炉衬厚度为 180 ~ 250mm		
	炉缸	底排风口下沿至炉底砂床顶面之间的炉体为炉缸	汇集与贮存铁液和熔渣
		无前炉的冲天炉炉缸，高度多为 450 ~ 600mm，炉缸上开有出铁口、出渣口和工作门	
		有前炉的冲天炉炉缸，高度尽可能低，一般为 200 ~ 400mm，以减少底焦耗量，减少铁液增碳、增硫。炉缸一侧通过过桥与前炉连通	使铁液汇集并导入前炉
	炉身	自加料口下沿至第一排风口中心线为炉身。此段高度为有效高度。炉身下部设有环形风箱，风箱内侧有多排风口通向炉内。下面一排风口为主风口，上面几排风口为辅助风口。由鼓风机鼓入的空气经风箱，通过风口鼓入炉内。风箱起进入炉内空气均匀稳定的作用 炉身由钢板制成的外壳和用耐火材料砌制的炉衬两部分组成。为避免炉壁加热变形，并减少热量损失，一般在炉壳与炉衬之间留有间隙，填入砂子或炉渣材料。根据熔炼工艺要求，炉身部分还分别开设加料口、风口、过桥口、修炉工作门及点火洞等。对于热风冲天炉，其密筋炉胆安装在炉身内	容纳炉料，焦炭燃烧、金属料预热、熔化、过热及造渣的全部熔化过程均在其中进行
烟囱	自加料口下沿至炉顶统称烟囱。烟囱是炉身的延长部分，由钢板制成的外壳和耐火砖砌制的炉衬两部分组成，顶部设有火花扑灭器		造成抽力，利于点炉自燃。将冲天炉内的气体、粉尘、焦炭碎粒和火花等引至炉顶，并加以收集。减轻环境污染
前炉	设在冲天炉前面，多呈圆筒形，用 6 ~ 12mm 厚钢板卷焊而成。外壳直径与后炉相近，内衬耐火材料厚 150 ~ 250mm，底部开有出铁口，侧面中下部开有出渣口，正面与过桥对应处开有窥视孔。上端装有前炉炉盖。通过过桥与炉缸连通		贮存铁液，使铁液化学成分、温度均匀，缩短铁液在炉缸中停留时间，减少铁液增碳、增硫
过桥	断面形状多为矩形，小端面尺寸（宽 × 高）取 40mm × 60mm ~ 50mm × 75mm。接连前炉的一端修成大端，倾斜度保持 1/30 ~ 1/20，以便铁液和熔渣流入前炉		铁液和熔渣由炉缸流入前炉的通道
供风系统	供风系统一般由风箱、风管和风口等部分构成		根据冲天炉的熔炼要求，供应足够量、具有一定压力的空气，送入炉膛

表 2-62　冲天炉各部位的炉衬特点

冲天炉各部位	炉衬特点(工况条件)	常 用 材 料
烟囱	与废气接触,温度不高,炉衬可长期不更换	普通耐火粘土砖,如(NZ)-30
加料口下 1m 以内	工作温度 <500℃,加料受撞击。要求炉衬力学强度高,耐冲击	铸铁砖
预热区	工作温度为 500 ~ 1100℃。受炉料的机械磨损作用。要求炉衬有足够的强度和耐火度	普通耐火粘土砖,如(NZ)-30
熔化区和过热区	受高温炉气、火焰、铁液和熔渣的作用。工作温度可达 1700℃左右。要求炉衬有较高的耐火度、抗熔渣性和热稳定性。此处炉衬需经常更换和修补	质量较好的耐火粘土砖,如(NZ)-40 和搪炉材料
炉缸	受高温铁液和熔渣作用。工作温度为 1500 ~ 1550℃。要求炉衬较高的耐火度、抗渣性和热稳定性。此处炉衬需经常修补	质量较好的耐火粘土砖,如(NZ)-40 和搪炉材料
炉底	工作条件同炉缸。每炉次后都需更换	型砂;炉底顶层可敷填一层焦炭砂
过桥	受高温铁液和熔渣强烈冲刷。要求炉衬有较高耐火度和抗冲刷能力	过桥填料和质量较好的耐火砖,如(NZ)-40 或成形耐火砖
前炉	受高温铁液和熔渣侵蚀。工作温度为 450 ~ 1500℃。要求炉衬具有较高的耐火度、抗渣性和热稳定性,并具有良好的保温性能	外层:耐火粘土砖(NZ)-35 和隔热材料 内层:前炉内壁搪料
出铁槽、出渣槽	受铁液、熔渣的冲刷,但作用时间较短	耐火粘土砖(NZ)-35 和隔热材料

表 2-63　冲天炉炉衬的修理材料配方

材 料 名 称	配方(质量分数,%)							
	粘土	耐火泥	耐火砖粉	焦炭粉	硅石粉	型砂	石墨粉	水
后炉搪料Ⅰ	40 ~ 30	—	—	—	60 ~ 70	—	—	适量
后炉搪料Ⅱ	10	20	35	—	35	—	—	适量
后炉搪料Ⅲ	—	40 ~ 20	—	—	60 ~ 80	—	—	适量
砖缝填料Ⅰ	40 ~ 30	60 ~ 70	—	—	—	—	—	适量
砖缝填料Ⅱ	—	40 ~ 30	60 ~ 70	—	—	—	—	适量
炉底填料	—	—	—	—	—	100	—	适量
炉底顶层填料	10 ~ 5	—	—	50	—	40 ~ 50	—	适量
过桥搪料	30 ~ 20	—	—	—	60 ~ 70	—	10	适量
前炉内壁搪料	20 ~ 10	—	—	80 ~ 90	—	—	—	适量
前炉外层隔热材料	10	—	—	10	20	60	—	适量
前炉内壁和过桥涂料	10	—	—	—	—	—	90	适量

2. 冲天炉的主要参数

1～7t/h 两排大间距风口冲天炉的主要参数见表 2-64。1～7t/h 多排小风口冲天炉的主要参数见表 2-65。卡腰冲天炉的主要参数见表 2-66。

表 2-64　1～7t/h 两排大间距风口冲天炉的主要参数

主要参数			单位	1	2	3	5	7
炉膛内径			mm	400	550	700	900	1000
炉壳外径			mm	740	962	1212	1464	1566
有效高度			mm	3200	4000	4900	5820	6100
炉缸深度			mm	250	250	250	300	400
炉底厚度			mm	200	250	250	250	300
风口	风口直径×个数×角度	一排（或一组）	mm×个数×(°)	φ25×4×5	φ34×4×5	φ35×6×5	φ28×8×5 φ28×8×5	φ31×8×5 φ31×8×5
		二排（或二组）	mm×个数×(°)	φ25×4×10	φ34×4×10	φ35×6×10	φ28×8×10 φ28×8×10	φ31×8×10 φ31×8×10
	风口比		%	3～4	3～4	3～4	3～4	3～4
	排距		mm	500	550	600	100 550 100	150 550 150
前炉	有效容量		t	0.75	2	2～3	3～5	5～7
	内径		mm	560	700	800	950	1000
	高度		mm	680	900	1140	1370	1660
烟囱内径			mm	550	700	900	1000	1098
加料口高度	单轨加料		mm×mm	—	2100×800	2500×1000	2600×1100	2800×1300
	爬式加料		mm×mm	翻斗式 900×580	翻斗式 900×580	2000×1000	2600×1100	2800×1300
底焦高度			mm	1300	1400	1500	1600	1700
理论风量			m^3/min	10	20	30	50	70
风压			kPa	8～10	8～10	10～12	10～12	12～14
风机				HTD20-11	HTD35-11	HTD60-11 HTD60-12	HTD80-11 HTD85-21	HTD120-21

注：该类炉型特点是两排风口，间距较大（中、小型冲天炉的排距与炉内径之比为 0.8～1.1），各排风口的送风量相近。

表 2-65　1～7t/h 多排小风口冲天炉的主要参数

熔化率/(t/h)			1	2	3	5	7
熔化带炉膛尺寸/mm			450	600	700	900	1050
主风口处炉膛直径/mm			310	450	540	690	850
炉壳外径/mm			750	950	1200	1400	1550
有效高度/mm			3500	3900	4800	5700	6000
炉缸高度/mm			200	200	220	280	300
第 1 排风口至炉胆下沿距离/mm			1300	1400	1600	1780	2250
前炉与冲天炉中心距/mm			1030	1200	1450	1600	2000
风口尺寸	(风口直径/mm×(个数/个)×[角度/(°)]	第 1 排	14×4×0	14×4×0	12×6×0	14×8×5	20×8×5
		第 2 排	20×4×0	23×4×5	16×6×0	16×8×7	40×8×10
		第 3 排	16×4×10	14×4×5	30×6×10	32×8×10	25×8×10
		第 4 排	12×4×0	14×4×5	12×6×0	14×8×5	20×8×10
		第 5 排	—	—	12×6×0	12×8×10	—
	各排风口排距/mm		150～200	150～200	150～200	200～250	200～250
热风炉胆尺寸	高度/mm		1500	1600	1800	2000	2200
	上部直径/mm		350	450	550	800	1000
	下部直径/mm		400	500	600	800	1000
前炉	内径/mm		570	700	800	970	1080
	有效容积/m^3		0.71	1.5	2.0	3.5	5.7

注：多排小风口冲天炉的风口排数为 3、4、5 排，风口比为 2.5%～6%，适用熔化率 <7t/h，多用于焦炭质量差、块度小、灰分高的情况。

表 2-66　卡腰冲天炉的主要参数

熔化率/(t/h)		0.5	1	1.5	2	2.5	3	5
铁液温度/℃			1420～1470		1420～1470		1420～1470	1420～1470
总铁焦比			7～9		7～9		7～9	7～9
炉膛最大直径/mm		450	550	570	650	720	800	
主风口处炉膛直径/mm		230	300	310	330	380	420	
炉膛平均直径/mm			425		522		645	800
风口	排数	2	2	2	2	2	2	2
	(二排直径/mm)×(个数/个)×角度		18×6×45°		20×6×45°		24×8×45°	30×8×45°
	(一排直径/mm)×(个数/个)×角度		18×12×45°		20×12×45°		24×16×45°	30×16×45°
	风口比(%)	4	3.8	3.7	3.5	3.4	3.4	2.5～3.5

（续）

有效高度/m	2.7	3.57	3.9	4.27	4.6	5.02	6.01
前炉容量/t	0.3	0.5	0.754	1	1.3	1.5	4.5～5.5
用风量/(m^3/t)	8	14	20	27	33	40	
风带风压/kPa	4.5～6.5	7～8.5	7.5～9	8.5～10	8.5～11	9～12	
鼓风机 HTD 型	20～11		35～12		50～11	50～12	80～12 或 85～21（双级）
鼓风机 功率/kW	7.5		15		18.5	22	45
总高度/m	7.9	10.7	11.5	11.9	12.5	14	
平台高度/m	3.65	4.3	4.5	5	5.5	5.7	

注：1. 卡腰冲天炉是曲线炉膛的一种形式，采用两排大斜度风口，炉膛直径在上排风口处（炉腰）缩小。

2. 本表摘自武穴市冲天炉成套设备厂产品样本。

3. 冲天炉专用鼓风机

冲天炉专用 HTD 系列高压离心鼓风机的规格见表 2-67。冲天炉专用 8-09、9-12 型高压离心鼓风机的性能数据见表 2-68。冲天炉常用罗茨鼓风机的规格见表 2-69。

表 2-67　冲天炉专用 HTD 系列高压离心鼓风机的规格

所配冲天炉/(t/h)	风机型号	风机主要参数			电动机型号
		风量/(m^3/min)	风压/kPa	功率/kW	
0.5	HTDI2-11	12	11	2.1	Y132S1-2-5.5
1	HTD20-11	20	11	5.1	Y132S2-2-7.5
	HTD20-12	20	13	6.1	Y160M_2-2-11
1.5	HTD30-11	30	14	9.8	Y160M_2-2-15
2	HTD35-12	35	12	10.4	Y160M_2-2-15
3	HTD50-11	50	13	14.3	Y160L-2-18.5
	HTD50-12	50	15	16.7	Y180M-2-22
	HTD50-13	50	17	18.9	Y180M-2-22
	HTD50-14	50	18	22.9	Y200L1-2-30
5	HTD85-21	85	20	37.6	Y325M-2-45
	HTD85-22	85	24	43.7	Y250M-2-55
	HTD85-23	85	28	50.6	Y280S-2-75
	HTD85-24	85	30	54	Y280S-2-75
7	HTD120-21	120	25	64.2	Y280S-2-75
10	HTD150-21	150	28	88.9	Y315S-2-110
15	HTD300-21	300	25	154	Y315M-2-185

表 2-68　冲天炉专用 8-09、9-12 型高压离心鼓风机的性能数据

熔化率/(t/h)	推荐风机型号	风量/(m^3/min)	风压/kPa	电动机功率/kW
1	8-09-11No. 7. 1D	18	12	7. 5
2	8-09-11No. 8D	36	16	15
3	8-09-11No. 9D 8-09-11No. 8D 9-121-11No. 9D	54 54 54	17 20 17	18. 5 30 30
5	8-09-11No. 9D 8-09-11No. 8D 9-12-11No. 9D	84 84 84	19 18 22	37 37 55
7	9-12-11No. 9D 10-16-11No. 8D	121 112	22 17	55 55

表 2-69　冲天炉常用罗茨鼓风机的规格

序号	风 机 型 号	风量/(m^3/min)	风压/kPa	电动机		备　注
				型号	功率/kW	
1 2 3	D36 ×28-20/2000 D36 ×28-20/3500 D36 × 28-20/5000	20 20 20	20 35 50	$JO_2$71-6 $JO_2$72-6 $JO_2$81-6	17 22 30	立式单进风口
4 5 6	D36 ×28-30/2000 D36 ×28-30/3500 D36 ×28-30/5000	30 30 30	20 35 50	$JO_2$71-4 $JO_2$72-4 $JO_2$82-4	22 30 40	立式单进风口
7 8 9	D36 × 35-40/2000 D36 × 35-40/3500 D36 ×35-40/5000	40 40 40	20 35 50	$JO_2$72-4 $JO_2$82-4 $JO_2$91-4	30 40 55	立式单进风口
10 11 12	D36 ×46-60/2000 D36 × 46-60/3500 D36 × 46-60/5000	60 60 60	20 35 50	$JO_2$82-4 $JO_2$91-4 $JO_2$92-4	40 55 75	立式单进风口
13 14 15	D36 ×60-80/2000 D36 ×60-80/3500 D36 × 60-80/5000	80 80 80	20 35 50	$JO_2$91-4 $JO_2$92-4 $JO_2$93-4	55 75 100	立式单进风口
16 17 18	D60 ×48-120/2000 D60 ×48-120/3500 D60 ×48-120/5000	120 120 120	20 35 50	JS115-6 JS117-6 JS126-6	75 115 155	卧式双进风口

（续）

序号	风 机 型 号	风量 /(m^3/min)	风压 /kPa	电动机		备　注
				型号	功率/kW	
19	D60×63-160/2000	160	20	JS116-6	95	卧式双进风口
20	D60×63-160/3500	160	35	JS126-6	155	
21	D60×63-160/5000	160	50	JS127-6	185	
22	D60×78-200/2000	200	20	JS125-6	130	卧式、双进风口
23	D60×78-200/3500	200	35	JS127-6	185	
24	D60×78-200/5000	200	50	JS136-6	240	
25	D60×90-250/2000	250	20	JS126-6	155	卧式、双进风口
26	D60×90-250/3500	250	35	JS128-6	215	
27	D60×90-250/5000	250	50	JS137-6	280	

2.3.3　冲天炉熔炼的基本原理

在冲天炉内金属炉料和焦炭直接接触，利用对流传热原理发生程度不同的热交换，使金属预热、熔化、过热，同时，其成分也发生增碳、增硫，硅、锰氧化烧损等变化，最后熔制出合乎技术要求的高温、优质铁液，完成熔炼目的。

图 2-8 所示为冲天炉熔炼的基本过程原理。点火后，先将底焦加至规定高度，然

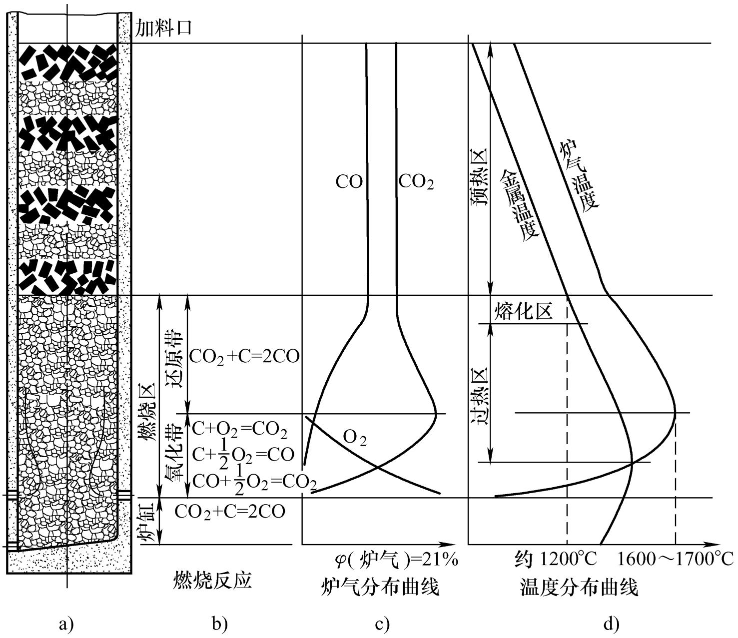


图 2-8　冲天炉熔炼过程基本原理图

a）装料图　b）燃烧反应　c）炉气分布曲线　d）炉温分布曲线

后按照金属炉料→层焦→熔剂的顺序逐渐将炉料加至加料口下沿（图 2-8a）。开风后由风口进入炉内的空气与底焦接触发生燃烧反应，产生热量，由此而生成的高温炉气穿过炉料向上流动，对炉料加热，并使底焦顶面上的金属炉料熔化。熔化后的液滴在穿过底焦缝隙下落的过程中，被高温炉气和炽热焦炭进一步加热。这种在金属炉料熔化温度以上的加热过程称之为过热，由此使铁液达到较高温度。最后过热的铁液经炉底、过桥流入前炉。在高温炉气下，石灰石约在 700℃ 分解成石灰（CaO）和二氧化碳。石灰是碱性氧化物，能与焦炭中的灰分和炉衬侵蚀物形成的酸性氧化物结合成熔点较低的炉渣。由于炉气、焦炭和炉渣的相互作用，金属液的化学成分也会发生变化，铁液的最终化学成分是金属炉料的原始成分与熔化过程中成分变化的综合结果。由此可知，冲天炉熔炼是由底焦燃烧、热量传递、冶金反应三个基本过程组成的，只有对底焦燃烧、热量传递和冶金反应同时进行合理控制，才能熔制出高温优质铁液。

2.3.4　冲天炉炉料

1. 金属炉料

金属炉料包括：铸造用生铁、回炉铁、废钢、铁合金。生铁是生产各种铸铁的基本材料。回炉铁的利用，能降低成本和减少占地面积。废钢主要是为降低铸铁碳硅含量。铁合金主要是为补足所需的合金元素成分。对各种金属炉料，除化学成分有明确的规定要求外，还要求其具有适宜的块度和洁净度。

（1）生铁　铸造用生铁，应符合 GB/T 718—2005 的规定（见表 2-3）。球墨铸铁用生铁，应符合 GB/T 1412—2005 的规定，见表 2-70。

表 2-70　球墨铸铁用生铁规格（GB/T 1412—2005）

牌号			Q_{10}	Q_{12}
化学成分（质量分数,%）	C		≥3.40	
	Si		0.50~1.00	>1.00~1.40
	Ti	1 档	≤0.050	
		2 档	>0.050~0.080	
	Mn	1 组	≤0.20	
		2 组	>0.20~0.50	
		3 组	>0.50~0.80	
	P	1 级	≤0.050	
		2 级	>0.050~0.060	
		3 级	>0.060~0.080	
	S	1 类	≤0.020	
		2 类	>0.020~0.030	
		3 类	>0.030~0.040	
		4 类	≤0.045	

（2）铁合金　硅铁和锰铁的牌号及化学成分见表2-4、表2-5。

（3）回炉铁　回炉铁的化学成分参考值见表2-71。

表2-71　回炉铁的化学成分参考值（质量分数）　　（%）

回炉铁特征		铸铁品种估计	C	Si	Mn	P	S
断口为灰色	晶粒较粗	普通灰铸铁	3.2～3.9	1.8～2.6	0.5～0.9	<0.2	<0.15
	晶粒较细	高牌号灰铸铁	2.7～3.2	1.1～1.7	0.8～1.4	<0.15	<0.12
断口为银灰色、晶粒较细		球墨铸铁	3.5～3.9	2.1～3.2	0.4～0.9	<0.10	<0.03
断口为银灰色略暗于球墨铸铁，晶粒较细		蠕墨铸铁	3.5～3.9	2.2～2.8	0.3～0.7	<0.08	<0.08
断口为黑绒色		黑心可锻铸铁	2.3～3.0	0.7～1.6	0.4～0.7	<0.2	<0.2

（4）废钢　化学成分参考值见表2-72。

表2-72　废钢及废钢屑化学成分参考值（质量分数）　　（%）

废钢特征	C	Si	Mn	P	S
普通碳素钢	0.14～0.22	0.12～0.30	0.35～0.65	<0.045	<0.050
普通碳素铸钢	0.20～0.60	0.50～0.60	0.80～0.90	0.04	0.04
钢屑压块	0.12～0.32	0.20～0.45	0.35～0.85	<0.06	<0.06

2. 焦炭

焦炭是冲天炉主要燃料。其固定碳质量分数应在80%以上，强度要高，灰分、硫分、水分和挥发物含量要少，反应性要低，以保证焦炭有较高的发热量，较低的对铁液的渗硫作用，且在燃烧时能充分燃烧生成二氧化碳。用于底焦的块度应大些，以100～150mm为宜。层焦块度可小些。

铸造焦炭应符合GB/T 17608—2006的规定，见表2-73。

表2-73　铸造焦炭

指标	级别		
	特级	一级	二级
块度/mm	>80		
	80～60		
	>60		
水分（质量分数，%）≤	5.0		
灰分（质量分数，%）	≤8.0	8.01～10.00	10.00～12.00
挥发分（质量分数，%）≤	1.5		
硫分（质量分数，%）≤	0.60	0.80	0.80
转鼓强度（%）≥	85	81	77
落下强度（%）≥	92	88	84
显气孔率（%）≤	40	45	45
碎焦率（40mm）（质量分数，%）≤	4.0		

3. 冲天炉用熔剂（见表 2-74）

表 2-74　冲天炉用熔剂

石灰石级别	化学成分(质量分数,%)					
	氧化钙≥	二氧化硅≤	氧化镁≤	不熔解剩余物(包括 SiO_2)≤	($Al_2O_3+Fe_2O_3$)≤	碎块(<20mm)≤
ZS-1	52	1.6	2.5	2	1.5	2
ZS-2	50	4	3.5	5	3	2
作用	炉内造渣					
块度要求	冲天炉熔化率/(t/h)			≤3	5~7	≥10
	石灰石块度(直径)/mm			30~50	60~80	100~150

2.3.5　冲天炉的主要工艺参数及配料计算

1. 冲天炉的主要工艺参数

（1）底焦高度的确定及检验　可参考表 2-75 和表 2-76。

表 2-75　根据炉膛直径选定底焦高度

炉膛直径/mm	500	600	700	900	1100	1300	1500
底焦高度/mm	1250	1300	1350	1400	1500	1600	1700

表 2-76　底焦高度的检验

冲天炉类别	底焦高度正常的标志	补 救 方 法
大排距双层风口冲天炉	试开风后,6~8min 后第一排风口处应能见到铁液滴	小于下限时间,说明底焦的高度不够,应及时补加一批接力焦,并在下一炉次适当增加底焦量 大于上限时间,说明底焦过高,应酌减底焦量
三排小风口冲天炉	送风后 5~6min 即可从风口观察到铁液滴	

（2）批铁量、层焦量、熔剂量的选定（见表 2-77）

表 2-77　批铁量、层焦量、熔剂量的选定

序号	项目	工艺参数选择	说　　明
1	批铁量	层铁重量=(冲天炉小时熔化率)/(8~12),或按层铁焦比选择	如核算批铁量不当,则应调整层焦量

（续）

序号	项目	工艺参数选择	说　明
2	层焦量	1）层焦厚度一般为3～4倍焦炭直径，即150～200mm 2）$W_{层焦}=A_{内}\ h_{层焦}\gamma_{焦}$ 3）入量按选定铁焦比计算： $W_{层焦}=\frac{W_{层铁}}{k}=(0.125\sim0.1)\frac{G}{k}$	$W_{层焦}$——层焦重量（kg） $A_{内}$——炉膛截面积（m^2） $h_{层焦}$——层焦厚度（m），一般为0.15～0.2m $\gamma_{焦}$——焦炭堆密度，取450kg/m^3 $W_{层铁}$——层铁重量（kg），一般为炉子熔化率G的1/8～1/10 G——炉子熔化率（kg/h） k——层铁焦比
3	熔剂量	1）使用铸造焦炭时，批料的石灰石量为层焦量的30%左右 2）使用灰多硫高的土焦时，批料的石灰石量为层焦量的40%～50% 3）以钢屑、铁屑带废钢时，批料的石灰石量为层焦量的60%～80%	

2. 冲天炉熔炼中元素的变化

冲天炉熔炼过程中元素的增减率参考表2-78。

冲天炉炉前加入合金元素的回收率参考表2-79。

表2-78　熔炼过程中元素的增减率 η　　（%）

元　素		增(+)减(-)情况		元　素	增(+)减(-)情况	
		极限范围	一般范围		极限范围	一般范围
C	炉料中<3.2	+(0～60)	+(5～40)	Cr	-(10～20)	-(8～12)
	炉料中>3.6	-(0～10)	-(3～8)	Mo	-(0～10)	-(3～4)
Si		-(0～40)	-(10～20)	Cu	-(0～3)	-(1～2)
Mn		-(10～50)	-(15～25)	Ni	-(0～3)	-(1～2)
P		0	0	V①	—	-(30～40)
S		+(25～100)	+(40～80)	Ti①	—	-(40～50)

① 以钒钛生铁形式加入。

表2-79　炉前加入合金元素的回收率（质量分数）　　（%）

元　素	加入合金	回收率	元　素	加入合金	回收率
Si	硅铁	80～90	Mo	钼铁	>95
Mn	锰铁	85～95	Ni	镍	100
Al	铝	30～40	Cu	纯铜	100
B	硼铁	40～50	Bi	铋	30～50
Ti	钛铁	60～70	Sb	锑	75
V	钒铁	≈85	Sn	锡	90
Cr	铬铁	>85			

3. 配料计算

配料是根据铸件的化学成分，计算并确定各种金属炉料的配合比例。

（1）经验参考数据

1）低牌号灰铸铁炉料的经验配比见表 2-80。

表 2-80　低牌号灰铸铁炉料的经验配比（质量分数）　（%）

牌　　号	HT100	HT150	HT200
废钢	0～10	0～15	15～25
回炉料	60～40	65～40	55～35
新生铁	40～50	35～45	30～40

2）废钢的经验配比见表 2-81。

表 2-81　废钢的经验配比（质量分数）　（%）

铸铁牌号	灰铸铁					球墨铸铁	蠕墨铸铁	可锻铸铁
	HT150	HT200	HT250	HT300	HT350			
废钢配比	0～10	15～20	20～30	30～40	40～50	0～15	0～15	70～95

（2）配料计算案例

1）原始数据。铸件牌号（HT200）的化学成分、炉料成分、元素增减率，汇总于表 2-82。

表 2-82　原始数据汇总表（质量分数）　（%）

元　　素		C	Si	Mn	P	S
（牌号 HT200）要求铁液成分		3.2	1.7	0.8	<0.15	<0.12
炉料	生铁	3.8	2.5	0.8	0.2	0.05
	回炉铁	3.3	1.7	0.6	0.2	0.10
	废钢	0.2	0.15	0.45	0.05	0.05
	硅铁	—	45	—	—	—
	锰铁	—	—	60	—	—
炉内元素增减率		+15	-10	-15	0	+50
出铁槽或铁液包中加入合金元素的回收率			见表 2-79			

2）配料计算

第一步：计算金属炉料中各元素应有的平均含量

$$C_{炉料}=\frac{C_{铁液}}{1+15\%}=\frac{3.2\%}{1.15}=2.8\%$$

$$Si_{炉料}=\frac{Si_{铁液}}{1-10\%}=\frac{1.7\%}{0.9}=1.89\%$$

$$Mn_{炉料}=\frac{Mn_{铁液}}{1-15\%}=\frac{0.8\%}{0.85}=0.94\%$$

$$S_{炉料} < \frac{S_{铁液}}{1+50\%} = \frac{0.12\%}{1.5} = 0.08\%$$

$$P_{炉料} < 0.15\%$$

第二步：初步确定金属炉料配比，并试算。

①根据本厂情况，确定回炉铁配比（质量分数）为45%。根据金属炉料应有的含碳量，计算生铁和废钢的配比。设生铁配比为 X，废钢配比为 Y，列方程组

$$\begin{cases} X + Y + 45\% = 100\% \\ 3.8X + 0.2Y + 3.3 \times 45\% = 2.8\% \end{cases}$$

解方程组得 $X = 33\%$，$Y = 22\%$。

即初定炉料配比为：生铁33%、废钢22%、回炉铁45%。

②核算元素含量、计算铁合金补加量

A. 核算硅量，计算硅铁加入量：

由生铁、废钢、回炉铁三种炉料带来的硅量为：$2.5\% \times 33\% + 0.15\% \times 22\% + 1.7\% \times 45\% = 1.623\%$

金属炉料应有的含硅量为：1.89%

尚缺硅量：$1.89\% - 1.623\% = 0.267\%$

应补加硅铁量为：$\frac{0.267\%}{45\%} = 0.59\%$

B. 核算锰量，计算锰铁加入量：

由生铁、废钢、回炉铁三种炉料带来的锰量为：$0.8\% \times 33\% + 0.45\% \times 22\% + 0.6\% \times 45\% = 0.633\%$

金属炉料应有的含锰量为：0.94%

尚缺锰量：$0.94\% - 0.633\% = 0.307\%$

应补加锰铁量为：$\frac{0.307\%}{60\%} = 0.51\%$

C. 核算磷、硫含量，看是否在规格成分允许的范围内。

由生铁、废钢、回炉铁带来的磷量为：$0.2\% \times 33\% + 0.05\% \times 22\% + 0.2\% \times 45\% = 0.167\% < 0.2\%$

由生铁、废钢、回炉铁带来的硫量为：$0.05\% \times 33\% + 0.05\% \times 22\% + 0.1\% \times 45\% = 0.0725\% < 0.12\%$

故磷、硫合格。

第三步，批料计算。冲天炉的熔化率为2t/h，层铁取2000kg/10 = 200kg，层铁焦比取10∶1，层熔剂（石灰石）为层焦重量的30%。则批料的配料确定如下：

生铁　　$200kg \times 33\% = 66kg$

废钢　　$200kg \times 22\% = 44kg$

回炉铁　$200kg \times 45\% = 90kg$

硅铁　　$200kg \times 0.59\% = 1.18kg$

锰铁　　$200kg \times 0.51\% = 1.02kg$

层焦　　200kg × 1/10 = 20kg

石灰石　20kg × 30% = 6kg

第四步，将计算结果填入配料单（见表 2-83），提供冲天炉熔化工使用。

表 2-83 配料单（质量分数）

牌号	炉料	生铁	回炉铁	废钢	45% 硅铁	65% 锰铁	焦炭	石灰石
HT200	配比(%)	33	45	22	0.59	0.51		
	批料重量/kg (200)	66	90	44	1.18	1.02	20	6

2.3.6 冲天炉操作及炉况判断

1. 冲天炉操作和控制

（1）炉料准备　炉料包括金属炉料、焦炭及熔剂。

1）金属炉料。金属炉料包括生铁、回炉铁、废钢及铁合金等。应按牌号或化学成分堆放，按规定块度（<1//3 炉径）、块重（<1/10 ~ 1/20 批料重量）破碎。要洁净，严重锈蚀的要除锈。炉前处理用合金块度控制在 5 ~ 20mm 范围内，并要预热到要求的温度再使用。

2）焦炭。焦炭有冶金焦和铸造焦。要筛分，剔除焦炭末，块度不均时，要分级使用，不得混用。底焦块度以 100 ~ 150mm 为宜，层焦可小些。

3）熔剂。造渣用的熔剂有石灰石（$CaCO_3$）、氟石（CaF_2）等，熔剂块度一般为 20 ~ 50mm。

所有炉料，应按配料单要求过秤，严格配料。

（2）修炉与烘炉

1）修炉。修炉方法：在每次开炉之前，对被侵蚀和损坏的炉衬必须修理。另外，每次停炉，炉底也被打落，所以在进行第二次熔炼前，也必须修理。

修炉时，首先清除炉壁上的残渣、挂铁；然后，在炉壁上刷耐火泥浆水，将事先混制好的“硅砂 + 耐火粘土 + 水”混合料敷上，用木锤打实。修好后的炉壁必须紧实，尺寸正确，表面光滑。风口的位置、尺寸和斜度，必须完全符合图样要求。最后，合上炉底门，并用炉门支撑撑牢，先放一层干砂，再放一层型砂，分别均匀捣实，炉底厚度为 200 ~ 300mm。炉底与炉壁转折处修成圆角，炉底向出铁方向修成 1∶12 ~ 1∶20 的斜度，以利出铁。修理过桥时，要将其内表面修得光滑平整，并在表面上刷上炭灰水涂料。

修前炉的方法与修冲天炉炉膛基本相同。

2）烘炉。炉子修完后，用木材或烘干器，慢火充分烘干前炉和后炉。前炉、浇包必须烘透，以保证铁液温度。

（3）点火与加底焦　烘炉后，先打开主风口、出铁口、出渣口；从工作门加入少量木材和引火柴垫底，再从加料口加入大块木柴，从工作门点火引着，并关上工作门。一般在开风前 2 ~ 2.5h 点火。

待大块木柴燃旺后，加入质量分数为40%的底焦，利用自然风使焦炭燃烧，全部烧红后，从风口将底焦倒实，再加入质量分数为40%的底焦，鼓风几分钟，并从加料口测量底焦的高度，用剩余20%的底焦，调节底焦高度使其到达规定要求（这里所谓的底焦，是指装入金属炉料之前加入炉内的全部焦炭量；而底焦高度则是从第一排风口中心线，至底焦顶面为止的那一段高度，炉缸内的底焦量不包括在底焦高度之内）。

底焦高度适当并燃烧后，关上风门，鼓风2～3min除灰。

（4）装料与开风　按配料通知单配料。过秤要准确，允差为3%～5%，磅秤要定期校验。

加完底焦后，先加入石灰石，其加入量为批料中石灰石量的2倍。然后，加入一批金属料，以后的加料顺序为焦炭→熔剂→废钢→新生铁→铁合金→回炉铁，依次循环。批料应一直加到加料口的下沿为止。在熔化过程中要及时加料，使料柱始终保持这一高度。若发现棚料，要及时排除。

批料中，金属层料总重约为熔化率（每小时熔铁量）的1/10，层焦的作用是补充底焦的消耗，以维持底焦高度不变。层焦一般为层铁重量的8%～12%。当层焦不能补充底焦的消耗时，每隔若干批料可多加一批层焦炭，称之为"补焦（或接力焦）"。若发现铁液温度超出正常温度而熔化速度降低，则可能是底焦高度太高；反之，则可能是底焦高度过低。石灰石要尽量加在炉膛中心，其重量为层焦重量的20%～50%，一般取30%左右。

装料完毕后，自然通风15～30min后，即可开风。开风时，仍应打开部分风口，待鼓风机运转30s后，方可关闭，以免CO积聚而引起爆炸。

（5）熔化、出渣、出铁

1）熔化。在正常熔化过程中，应严格控制风量、风压，不得随意停风。按规定及时取样，测量铁液温度、风量、风压、风温。调整风量、风压至规定值。要经常观察风口、出渣口、出铁口、加料口，注意铁液、炉渣质量，以及风压、三角试块白口变化；及时发现和排除故障，保证熔化正常。风口要明亮、通畅、捅风口操作要仔细，保持风口尺寸大小。

正常熔化时，一般送风5min左右在主风口就能看见铁液下滴，说明底焦高度适当。熔化正常时铁液滴为亮白色，大小如绿豆，下落很快。如果风口发暗，铁液滴似黄豆大小，下降慢，说明底焦偏低，应多加一层焦炭，并适当减小风量，在以后的加料过程中加大层焦量。否则不但铁液氧化，而且可能使未熔化的铁块落入主风口区，甚至落入炉缸。若风口情况良好，但铁液滴像芝麻大小，熔化速度很慢，说明底焦过高，加料时应减少层焦量。

熔化开始后，当前炉出铁口出现金属液向外流淌时，应立即封住出铁口。在整个熔化过程中应尽量避免中途停风，如果出现故障必须停风时，在停风后应立即打开风口，停止加料，以免CO气体积聚过多在重新鼓风时发生爆炸。当鼓风机重新送风后才能关闭风门，待熔化正常后继续加料。

2）出渣。出渣要及时，一般每隔30～45min出一次渣。应按时打开出渣口出渣，

并观察炉渣状况。从炉渣的颜色、状态可以判断冲天炉的熔化质量。

观察酸性冲天炉炉渣时，一般用铁棒挑起炉渣拉成丝，在亮处观察其颜色。炉况正常的炉渣为黄绿色玻璃状。炉渣呈淡棕色玻璃状，说明炉况正常，含锰较高；炉渣呈紫色玻璃状，说明含硫量高；炉渣呈深咖啡色玻璃状，说明含 FeO 太多；炉渣呈黑色、致密度很高，说明炉温低，风量大，底焦低，铁液氧化；炉渣呈黑色空松、有气泡，说明炉温低，底焦低，石灰石少，铁液氧化严重；炉渣呈灰白色石头状，说明石灰石太多。

3）出铁。在送风 30min 左右就可以打开前炉出铁口出铁，当浇包中铁液足够后，并有熔渣从出铁口流出时，用带有泥塞头的堵塞工具将出铁口堵住。

出铁重量要准确，牌号要分清，变换铸铁牌号时，要加隔离焦，注意处理交界铁液，交界铁液一般不能浇注重要铸件。

根据出炉铁液浇注的三角试块的白口宽度，确定所浇铸件的厚度。通常，所浇铸件的厚度是三角试块白口宽度的 3 ~ 5 倍。向铁液中冲熔适量的硅铁，可减小试块的白口宽度，以适合所浇铸件厚度。

（6）炉前检查与控制方法　在铁液出炉后浇注前进行炉前检测，是保证铸件质量、减少废品的关键环节。炉前检测主要检测铁液温度、化学成分、组织性能和气体含量。炉前检查合格后，就可以进行浇注。

（7）停风与打炉　停风前，应根据铁液需求量和存铁量，估算好正常投炉料的批数；正常加料完毕后，应加两批压炉铁，停料后，应适当降低风量、风压，保证最后几批料的熔化质量。

停风前，先打开风口，防止 CO 积聚。前炉存铁液量足够时，即可停风，待后炉铁液出完后，即可打炉。对于热风炉胆冲天炉，打炉时不能停风，以冷却炉胆。

打炉前，应在炉底铺上干砂，地面不得有积水或潮湿。打开炉底门，用铁棒将底焦和未熔炉料捅下，用水浇灭。如果炉底未能在炉料自重下塌落，则可以再加入生铁块于炉内，由生铁块下落的冲击力冲破炉底。

2. 冲天炉炉况的判断

冲天炉熔炼过程炉况是否正常，可通过观察，凭借经验对炉况进行判断。

1）观察加料口、风口、出渣口及风量风压，判断炉况，见表 2-84。

表 2-84　观察加料口、风口、出渣口及风量风压，判断炉况

项目	观 察 什 么	现象或特征	判断出炉况
观察加料口	观察加料口火焰	火焰呈桃红色，并带少量蓝色，加批料后即熄火	风量正常
		火焰升高，带黄色，加料后压不住火	已发生搭棚，或风量过大
		不见火焰，有白烟无力的旋出	风口结渣，炉内棚料
		无火焰	铁焦比高时，炉气中 CO 少
		加料口处废气中 CO 质量分数为 8% ~10%，废气温度为 300 ~400℃	炉况正常

（续）

项目	观 察 什 么	现象或特征	判断出炉况
观察风口	开风后，从风口观察铁液滴	若6～8min见到铁液滴	底焦高度合适
		10min以上才见到铁液滴	底焦过高
		不到5min就见到铁液滴	底焦过低
	熔化过程中观察风口	风口发白发亮	底焦燃烧良好、炉温较高
		铁液落下速度快	底焦高度合适，铁液温度较高
		风口发暗，有黑渣，铁液发红，滴到焦炭上停顿一下才落下，流动性差	底焦太低，炉温和铁液温度偏低，应及时补加接力焦，并适当减小风量
		风口情况良好，熔化率降低	底焦过高
		风口结渣	炉温低，炉渣太粘
观察出渣口	在带前炉、开渣口作业时，观察出渣口火苗	火苗呈蓝色，或黄色，有少量白烟	底焦合适，炉况正常
		火苗发红，甚至喷出黑烟	底焦太低，或炉内搭棚，铁液温度下降
		喷出很多白渣棉，火焰有力	底焦偏高，风量大
		出渣口突然外喷，压力增加	炉内已经搭棚堵塞
		若外喷压力逐渐减小，甚至停止外喷	过桥堵塞
观察风量风压	用罗茨鼓风机鼓风时	风压上升，风机声音沉闷	炉内阻力增加，风口有堵塞
		风压下降	料柱偏低，或预热带上部料块过大造成搭棚，或风箱漏风
	用离心鼓风机鼓风时	风压增加，风量减少	风口结渣，炉料细碎时炉内阻力增加
		风压降低，风量增大	炉内搭棚，或炉料不满

2）观察炉渣、炉衬侵蚀位置，判断炉况，见表2-85。

表2-85　观察炉渣、炉衬侵蚀位置，判断炉况

项目	观 察 什 么	现象或特征	判断出炉况
炉渣观察	观察炉渣颜色，判断其酸碱度	渣呈黑色，出炉时可拉成丝	酸性渣，碱度<1.0
		渣呈黑色多孔，出炉时拉不成丝	低碱性渣，碱度1.0～1.2
		渣呈黄色或灰白色多孔，质轻	碱性渣，碱度1.2～3.0
		渣呈乳白色多孔，质轻，冷却后自然粉碎	强碱性渣，碱度>3.0
	将炉渣拉成细丝，在亮处观察炉渣颜色	黄绿色玻璃状，或灰白色玻璃状	炉况正常，熔剂加入量合适
		炉渣上带白道，或白点	炉温低，石灰石加入量多，应补加接力焦，并减少熔剂量

（续）

项目	观察什么	现象或特征	判断出炉况
炉渣观察	将炉渣拉成细丝，在亮处观察炉渣颜色	黑色玻璃状，很致密，密度较大	炉温低，铁液氧化严重，渣中含氧化铁较多，石灰石加入量少，应补加接力焦，减少风量和增加熔剂量
		黑色玻璃状，很疏松，放渣时渣中出气泡	这是熔化中最坏的情况，渣中 FeO 的质量分数远大于 12% ~ 15%。应及时减少风量，补加焦炭，但不能停风以免凝炉
		深咖啡色	炉渣含硫量高所致，应勤放渣，防止渣中硫回到铁液中

项目	观察什么	分类	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	FeO	MnO	P_2O_5	FeS
炉渣观察	炉渣成分（质量分数，%）	酸性渣	40 ~ 55	20 ~ 30	5 ~ 15	1 ~ 5	≤5	2 ~ 10	0.1 ~ 0.5	0.2 ~ 0.8
		碱性渣	20 ~ 35	35 ~ 50	10 ~ 20	10 ~ 15	≤2	≤2	≤0.1	1 ~ 5

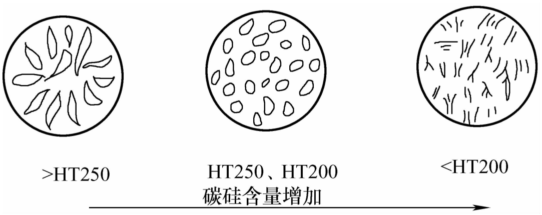
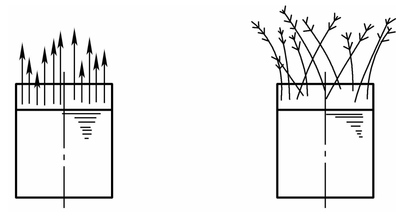
项目	观察什么	现象或特征	判断出炉况
炉衬侵蚀位置	炉温最高处，是在氧化带和还原带交界的地方，即氧化带顶端，它与熔化带处都是炉衬侵蚀最大的地方，通过第 2 天对炉衬侵蚀位置的观察，可判断炉况	侵蚀位置最深的高度越短	说明氧化带短了
		侵蚀位置不深，也不集中，曲线平滑	说明燃烧的高温区不集中
		熔化带侵蚀区低	说明底焦高度不够
		熔化带侵蚀区很长	说明底焦高度波动大

3）观察铁液的温度、氧化程度、化学成分变化，判断炉况，见表 2-86。

表 2-86　观察铁液的温度、氧化程度、化学成分变化，判断炉况

项目	观察什么	现象或特征	判断炉况
观察铁液温度	铁液颜色、流动性	铁液发白，流动性好	说明铁液温度高
		铁液不十分白，但流动性好	说明铁液中 C、Si 量高，温度正常
		铁液发白，流动性不好	说明铁液氧化较严重，铁液温度往往不高
	铁液温度	前期高，然后逐渐下降	这是由于炉膛逐渐扩大，底焦高度下降，或层焦不足。此时应调整风量，补加接力焦
		铁液温度突然下降	这是搭棚造成底焦高度下降，或风口堵塞，炉衬塌落，风箱漏风所致
		铁液温度忽高忽低	这是炉料块度差别太大，或批料过大，或送风不稳定，或经常棚料而造成。应调整风量和批量，料块大小应搭配使用

（续）

<table>
<tr><th>项目</th><th>观察什么</th><th>现象或特征</th><th>判断炉况</th></tr>
<tr><td rowspan="5">观察铁液温度</td><td rowspan="5">出铁槽上铁流表面白亮氧化皮状况</td><td>铁液完全被氧化皮覆盖</td><td>铁液温度 > 1340℃</td></tr>
<tr><td>氧化皮宽度 > 一个手指</td><td>1340 ~ 1350℃</td></tr>
<tr><td>氧化皮宽度 < 一个手指</td><td>1360 ~ 1370℃</td></tr>
<tr><td>没有氧化铁皮</td><td>> 1380℃</td></tr>
<tr><td>有火头且冒白烟</td><td>> 1400℃</td></tr>
<tr><td rowspan="2">观察铁液化学成分</td><td>观察铁液花纹</td><td colspan="2">铁液出炉至浇包时，铁液表面的碳硅和空气中的氧接触发生氧化，因而在铁液表面形成时现时灭的花纹。花纹种类与铁液化学成分有关。观察花纹的变化，就可以在浇注前大致判断铁液的化学成分。花纹越细越多，铸铁牌号越低，如下图所示：

</td></tr>
<tr><td>观察铁液飞溅的火花</td><td colspan="2">出铁时从浇包中飞溅出来的火花有两种形式：即扫帚状火花、雪花状火化（如下图所示）

扫帚状火花　　雪花状火花
含碳量低时，扫帚状火花多；含硅量低时，雪花状火花多。生产可锻铸铁时，雪花状火花特别多</td></tr>
</table>

2.3.7　冲天炉熔炼的检测技术

1. 冲天炉技术参数的检测方法

（1）炉料重量的检测　①金属炉料重量检测方法，有电磁吸盘式配铁秤、自动

定量电磁吸盘式配铁秤，以及与之相配套的装置，如铁料翻斗或过渡料车、电磁配铁秤的桥式起重机等；②焦炭、石灰石重量检测方法，有磅秤式自动称量器、电子式自动称量器等。

（2）炉内料位检测方法　①机械法（探杆式）、炉气压差法（U 形管式）、炉气压差法（薄膜微压开关式）、炉气压差法（空气压差式）等；②冲天炉加料批数自动检测计数显示的方法。小型冲天炉用机械式计数器、电磁式计数器两种。机械化自动化程度较高的冲天炉常用等离子发光屏计数器、场致发光计数器和灯泡组字计数器等。

（3）送风压力的检测　多采用液柱式压力计（如 U 形管压力计、单管压力计等）或弹簧式压力计（如膜盒压力计、膜片微压计、波纹管压力计等）。

（4）送风量的检测　常用方法是毕托管法和标准孔板法。

（5）铁液温度的检测方法　有两大类：一是非接触法测温（如光学高温计等）；二是接触式测温（如热电偶高温计——即热电偶配二次显示仪表组成高温计）。

（6）炉气成分的检测　常用于冲天炉炉气分析的仪器有化学式气体分析仪、导热式气体分析仪、红外线气体分析仪、气相色谱仪等。检测冲天炉加料口料线下 400 ~500mm 处的炉气成分。

2. 冲天炉熔炼过程的控制

（1）送风量的自动控制方法　①按重量调节风量（如油压喷管式调节器）；②按体积调节风量（如 U 形管压差计、环形天秤、液压喷射管等）；③按炉气成分（CO_2 或 CO）调节风量（如红外线气体分析仪、气相色谱仪等）。

（2）送风湿度的控制方法　①脱湿法（如冷冻脱湿法、吸附法、吸收法等）；②额定湿度法（如在控制送风湿度时，多采用毛发湿度计，或干湿球湿度计）。

（3）铁液温度的自动控制　目的是使冲天炉出铁温度保持在规定的范围内，以满足工艺上的要求。常用提高热风温度或是在风口、炉缸吹氧的方法，来提高铁液温度。如用“富氧送风调节液温系统”控制铁液温度。又如冲天炉和工频炉双联熔炼时，采用“光电比色高温计”连续测出出铁槽的铁液温度，在显示仪表上显示出来，同时，经过功率控制电路，控制感应电炉的功率，从而控制了出炉的铁液温度。

（4）冲天炉的自动配料、加料、计数的集中控制　如自动电磁配铁秤进行配料后，将信号送入“ZICK-1 型程序控制器”，对加料过程进行程序控制。整个配料加料过程采用“场致发光动态模拟显示”，熔化工部所有设备、工艺参数的指示和记录，采用集中控制。

3. 冲天炉炉前检测方法

炉前检测是在铁液出炉后浇注前进行的。炉前检测主要检测化学成分、组织性能和气体含量。

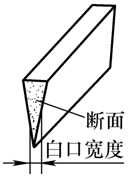
（1）炉前三角试块检验（见表 2-87）

（2）炉前圆柱试块的检测（见表 2-88）

（3）炉前热分析和微分热分析法（见表 2-89）

（4）冲天炉其他六种炉前检测方法（见表 2-90）

表 2-87 炉前三角试块检验

检验内容	图示	判断炉况
判断成分、组织、性能		炉前控制白口宽度的方法:根据出炉铁液浇注的三角试块的白口宽度,确定所浇铸件的厚度。一般所浇铸件的厚度是三角试块白口宽度的 3 ~ 5 倍。向铁液中冲熔适量的硅铁,可减小试块白口宽度,以适合所浇铸件厚度

灰铸铁各牌号对应的白口宽度

牌号	HT100	HT150	HT200	HT250	HT300
白口宽度/mm	0 ~ 2	2 ~ 3.5	3.5 ~ 5	5 ~ 6.5	6.5 ~ 8

三角试块的白口宽度与铁液成分的关系

序号	白口宽度/mm	化学成分(质量分数,%)							共晶度
		C	Si	Mn	P	S	碳硅总量	碳当量	
1	无	3.61	2.26	0.99	0.124	0.126	5.87	4.40	1.01
2	无	3.73	1.56	1.06	0.075	0.087	5.23	4.25	0.99
3	≈1	3.64	1.70	0.99	0.071	0.114	5.34	4.20	0.97
4	≈2	3.50	1.56	1.42	—	0.098	5.06	4.02	0.93
5	≈2	3.25	2.10	0.81	—	0.109	5.35	3.95	0.90
6	≈3	3.45	1.54	1.00	0.093	0.109	4.99	3.96	0.91
7	≈	3.37	1.67	1.26	—	0.117	5.04	3.92	0.89
8	4 ~ 5	3.33	1.46	0.95	0.095	0.117	4.79	3.82	0.88
9	≈	3.09	1.63	0.97	0.106	0.195	4.72	3.63	0.83
10	≈	2.98	1.83	0.97	0.103	0.057	4.81	3.59	0.81
11	≈	2.92	1.46	0.93	0.101	0.067	4.83	3.41	0.77
12	≈	2.78	1.73	0.95	0.099	0.057	4.59	3.35	0.75
13	9 ~ 10	2.85	1.02	0.88	0.0985	0.069	3.87	3.19	0.73

表 2-88 炉前圆柱试块的检测

检测目的	说明
判断铁液碳、硅含量与牌号	根据在铁模中浇注圆柱试块上端的外形(膨胀与收缩情况)、断口颜色、白口层深度来判断铁液的碳、硅含量与牌号

圆柱试块的外形与碳、硅含量的关系

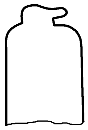
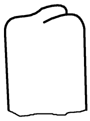
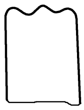
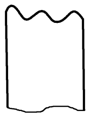
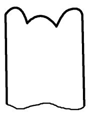
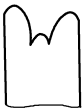
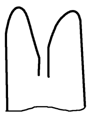
编号		1	2	3	4	5	6	7
圆柱试块头部形状								
大约成分(质量分数,%)	C	3.3	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.0
	Si	2.5	2.4	2.4	2.2	2.2	2.0	2.0

表 2-89　炉前热分析和微分热分析法

<table>
<tr><td>检测目的</td><td colspan="3">碳、硅含量，碳当量，共晶度，铸铁组织和石墨析出形态，孕育效果，抗拉强度和硬度</td></tr>
<tr><td>说明</td><td colspan="3">根据合金冷却行为，与其成分、结晶热力学和动力学因素有关的原理，测定合金冷却过程中的微分冷却曲线，通过其特征值可测得灰铸铁成分、力学性能及组织形态等。它是检验铁液质量较为简便、有效的方法之一。热分析法具有分析快速、简便和较准确的特点</td></tr>
<tr><td colspan="4">国产热分析仪型号及特点</td></tr>
<tr><td>序号</td><td>型　号</td><td>特　点</td><td>生 产 厂 家</td></tr>
<tr><td>1</td><td>CWF 型微机铸铁成分热分析仪</td><td>P 量调节和数学模型系数可用计算机键盘设定、修改和检查；有亚共晶、共晶、过共晶样杯配套供应</td><td>新安江铸造仪器厂</td></tr>
<tr><td>2</td><td>ZTZY-Ⅱ型分析仪</td><td>可用于球墨铸铁、低合金铸铁；配有可锻铸铁、灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁、低合金铸铁各种样杯</td><td>北京机电研究院</td></tr>
<tr><td>3</td><td>ZTFX-Ⅰ微电脑炉前分析仪</td><td>该仪器引进日本技术，操作简便，性能稳定</td><td>南京前线无线电厂</td></tr>
<tr><td>4</td><td>CTF-Ⅰ型电脑热分析仪</td><td>用于可锻铸铁、灰铸铁、合金铸铁，可为用户编制不同软件程序</td><td>无锡科联铸造仪器厂</td></tr>
<tr><td>5</td><td>ZHQ-401、ZHQ-403 型铸铁碳硅量、球化率炉前快速测定仪</td><td>自动打印，自动显示</td><td>周口电子仪器厂</td></tr>
<tr><td>6</td><td>热分析仪</td><td>微机，带微分记录曲线</td><td>四川仪表厂</td></tr>
<tr><td>7</td><td>WRZ-1 型微机热分析综合参数测试装置</td><td>此外还打印记录固液线温度（T_M、T_L）、CE 及过冷度、最大冷速和微分时间参数</td><td>北大成德电子仪器厂</td></tr>
</table>

表 2-90　冲天炉其他六种炉前检测方法

<table>
<tr><td>序号</td><td>检 测 方 法</td><td>检 测 内 容</td><td>说　明</td></tr>
<tr><td>1</td><td>级比法测定</td><td>灰铸铁抗拉强度</td><td>炉前浇注试样，取得信息，分析处理，可直接得出铸铁的某些力学性能</td></tr>
<tr><td>2</td><td>炉前快速金相法</td><td>金相组织</td><td>根据铸件壁厚，用处理后铁液浇注 $\phi10 \sim \phi30$mm 试样，冷却后，制成金相试片，在显微镜下观察金相组织</td></tr>
<tr><td>3</td><td>非真空光电直读光谱仪</td><td>可检测除 C、P、S 外的其他多种元素</td><td rowspan="2">用电能或热能将分析样品蒸发形成原子蒸气，同时使原子受激而发射出一定波长的原子光线，再用光谱仪器将这些原子光线按波长顺序展开形成光谱，根据测量到的光谱线强度进行物质化学元素的定性和定量分析</td></tr>
<tr><td>4</td><td>真空光电直读光谱仪</td><td>能作 C、P、S 和其他多种元素</td></tr>
</table>

（续）

序号	检 测 方 法	检 测 内 容	说　　明
5	浓差电池法	可检测铁液中溶解氧、石墨形态	利用 ZrO + CaO 固体电解质作浓差电池，检测铁液中的溶解氧量，而铁液中的溶解氧与铸铁石墨形态有关，因此，检测铁液中氧活度，可预报石墨形态
6	气相色谱法	可检测铁液中 O_2、N_2、H_2	把从铸铁中制好的气样中的氧和氧化物，用碳还原成 CO，同时，也使溶氢、溶氮和氧化物、氮化物发生分解后测定 N_2、O_2、H_2

2.3.8　冲天炉熔炼常见故障及排除方法

冲天炉熔炼过程常见故障的类型、预兆、产生原因与排除方法见表 2-91。

表 2-91　冲天炉熔炼过程常见故障的类型、预兆、产生原因与排除方法

序号	常见故障	预　　兆	产 生 原 因	排 除 方 法
1	棚料（悬料、搭棚）	料面停止下降；加料口火焰突然增大，或加料口不见火焰，有白色无力的烟旋出；风压大幅波动；常伴有低沉的嗡嗡声	1）炉衬修复不善，凸凹不平 2）料块过大，或形状不规则，炉内有上大下小的倾斜料 3）焦炭、溶剂质量不好	1）用长铁杆从加料口捅炉料 2）控制炉料尺寸，修炉保持上小下大 3）短时间停风，使炉料降温收缩而下降，或间断送风使棚料松动 4）炉料下落后，适当补加接力焦 5）棚料严重长时间不能排除，炉内已烧空，应立即打炉，以防冻结
2	风口见铁（落生）	未熔化的金属炉料进入风口	1）棚料时间长 2）金属炉料块度过大 3）炉料中混有大块钢料 4）底焦过低，炉温不高 5）风量过大，炉料下降太快，预热不充分	1）预防棚料 2）维持好底焦高度 3）从风口处把铁料向内推移，然后关闭风口，提高风口前温度使铁料熔化 4）控制风量和炉料大小 5）加接力焦，减风熔化，促使炉况正常

（续）

序号	常见故障	预　　兆	产 生 原 因	排 除 方 法
3	出铁口打不开（冻结）	出铁口被铁液堵塞无法放出铁液	1）出铁口的喇叭口小，圆柱孔段长，形状不正确 2）铁液温度低，烘炉不充分 3）堵铁口时，泥塞未塞进出铁口里 4）熔化过程中停风时间过长	1）细心地凿穿出铁口 2）用氧气或电弧切割，熔穿出铁口 3）开风后，出铁口不堵，放出部分冷铁液 4）停风时应出净铁液，堵出铁口的操作中要防止漏铁
4	炉底漏铁液（漏炉）	炉底、过桥等处漏出铁液	1）舂炉底的型砂太干 2）炉底舂得不结实，或炉底与炉壁交界处圆角修得不好 3）装引火柴时，撞裂炉底	1）停风，或用耐火泥补塞、堵住漏铁液处，或喷水冷却；严重时，出净铁液，打炉 2）按工艺规则要求，提高修炉质量，保证炉底修炉材料舂紧实 3）严禁烘炉过急，防止炉底修炉材料开裂
5	过桥堵塞	前炉窥视孔处，或出渣口处，火焰软弱无力	1）过桥过长，降温严重 2）过桥高度太矮，被焦炭块堵住 3）炉渣粘度太大 4）过桥没有烘烤透 5）底焦中混有碎铁，铁液温度低，造成凝固	1）加高过桥尺寸，尽量缩短过桥 2）过桥修成向前炉逐渐扩大的喇叭口形，过桥进口近旁摆几块大焦炭 3）多加石灰石 4）烘透过桥 5）及时用铁杆经前炉窥视孔捅通过桥
6	爆炸		1）开风或停风操作不当，炉内 CO 气体倒流入风箱、风管，与空气混合后形成爆炸 2）炉中混有爆炸物，或封闭的容器	1）开风前，先要打开窥视孔，送风后再关闭；停风前先打开窥视孔，后停风 2）严格检查原材料

（续）

序号	常见故障	预　兆	产 生 原 因	排 除 方 法
7	烧红（炉壳发红）		1）炉衬搪修得不好，熔炼中脱落 2）熔剂过量并偏向一边，使炉衬侵蚀过深 3）耐火材料差，熔炼时间过长 4）风口布置不合理，进风不均匀	1）向发红处浇水冷却，同时及时清除炉子周围的积水 2）用蘸水的麻袋敷于发红处，并及时更换干了的麻袋 3）如同时出现漏铁液时，应立即停风、出铁、打炉
8	发渣	炉渣体积猛增，颜色变黑发泡；铁液氧化严重，炉渣中 FeO 猛增，Si、Mn 烧损严重，炉前三角试块白口增加；加料口、出渣口冒出大量黑烟并有炉渣喷出	1）风量过大，铁液氧化 2）底焦过低 3）熔剂量少，炉渣碱度太低 4）炉料锈蚀严重，或夹杂的砂子太多 5）炉衬大量脱落	1）减少风量 2）增加底焦高度，多加石灰石 3）从风口吹入氟石粉 4）立即放渣 5）如炉渣从风口进入风箱，则立即打炉 6）加强炉料除锈去污处理
9	风口结渣	风口处看不见焦炭或被渣粘糊住 风压升高 料面下降变慢	1）炉料脏物太多，熔剂太碎 2）底焦中灰分和脏物较多 3）开炉初期温度低 4）修炉尺寸不合要求	1）交替关闭风口，使凝渣逐渐熔化（应同时减少风量），补加接力焦和熔剂 2）从风口吹入熔剂 3）开风初期，风量适当减少，点火不宜过早，炉料要符合工艺要求 4）严重时，立即打炉
10	通风不畅	出现炉内某一方通风不畅，局部炉温下降现象	焦炭堵住主风口	可以打开风口，用铁棒捅开被堵风口，使其进风通畅
11	铁液氧化	炉渣呈黑色泡沫状，三角试块白口深度增加，铁液流动性差		1）适当调小鼓风量 2）保持底焦高度，可补加接力焦 3）严格控制金属炉料质量，防止炉料锈蚀
12	铁液温度低	开炉后，铁液温度一直较低，或熔炼过程中，铁液温度突然降低		1）补加接力焦，提高底焦高度 2）严格控制鼓风量，同时，检查供风系统，是否有漏风情况，发现泄漏，应采取措施补漏 3）严格按加料规定加炉料，以确保铁料在炉子中能有效预热 4）检查风口，并保持其畅通

2.3.9　孕育铸铁的熔炼工艺

孕育处理是现代铸造生产提高铸铁性能的重要手段。孕育铸铁是指由碳、硅含量较低的原铁液经孕育处理而得到的高强度灰铸铁。国家标准 GB/T 9439—2010 规定孕育铸铁牌号有 HT250、HT300、HT350。

1. 孕育铸铁熔炼的工艺参数（表 2-92）

表 2-92　孕育铸铁熔炼的工艺参数

牌号	化学成分(质量分数,%)						孕育硅量 75Si-Fe (%)
	C	Si		Mn	P	S	
		孕育前	孕育后				
HT250	2.8～3.3	0.9～1.1	1.0～1.7	0.8～1.2	<0.15	<0.12	0.3～0.6
HT300	2.8～3.2	0.8～1.0	1.1～1.7	0.8～1.2	<0.15	<0.12	0.4～0.7
HT350	2.7～3.1	0.6～0.8	1.1～1.6	1.0～1.4	<0.10	<0.12	0.6～0.8

牌号	CE(%)	配料碳量(%)	废钢加入量(%)		出铁温度/℃	孕育温度/℃	浇注温度/℃
			有前炉	无前炉			
HT250	3.40～3.66	1.9～2.8	20～30	30～35	1450～1460	1350～1420	1320～1340
HT300	3.36～3.56	1.8～2.6	35～40	45～55	1460～1480	1360～1430	1330～1350
HT350	3.26～3.43	1.7～2.4	45～55	60～70	1470～1490	1380～1440	1350～1360

2. 孕育剂含量与铸件壁厚关系

为防止铸件薄壁处产生白口或麻口，应注意孕育铸铁允许的最小壁厚。在含碳量不变的条件下，孕育铸铁件壁厚与含硅量的关系见表 2-93。

表 2-93　孕育铸铁件壁厚与含硅量的关系

铸件壁厚/mm	5	10	20	30	40	70	100
w(Si)(%)	2.5	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2

3. 孕育剂

常用的孕育剂是 FeSi75（见表 2-4）。此外，也可以根据需要选用新型孕育剂如：钡硅铁（BaSiFe）、锶硅铁（SrSiFe）、碳硅钙（TG-1）、稀土钙钡硅铁（RECaBa）、稀土铬锰硅铁（RECrMn）、稳定化复合孕育剂（DWF）等，这些孕育剂已经商品化。

4. 铁液孕育处理操作方法（见表 2-94）

表 2-94　铁液孕育处理操作方法

出铁温度/℃	每次处理铁液重量/kg	硅铁孕育剂				
		粒度/mm	吸收率(质量分数,%)	预热温度/℃	加入量(占处理铁液量的质量分数,%)	加入时间
1400～1440	50～100	2～5	70～80	300～500	0.3～0.7	孕育剂均匀撒在出铁槽铁流上应占出铁时间 3/4 左右
	100～1000	5～10				
	1000～5000	15～20				

（续）

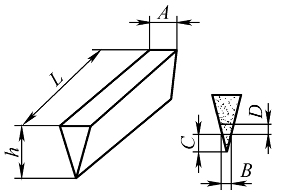
出铁温度/℃	每次处理铁液重量/kg	硅铁孕育剂				
		粒度/mm	吸收率（质量分数,%）	预热温度/℃	加入量(占处理铁液量的质量分数,%)	加入时间
出铁温度及白口宽度控制		需经孕育处理的铁液出炉温度必须>1400℃。其试样白口宽度应在孕育处理后的白口宽度的3倍以上				
孕育处理 采用出铁槽冲入法		在铁液出炉时,在出铁槽中徐徐加入符合块度要求的经过预热的孕育剂(硅的质量分数≥70%的硅铁,或硅钙合金),在处理过程中,要充分搅拌浇包内的铁液,以加速孕育剂的熔解和减少烧损。处理使铁液达到白口宽度要求后,应尽快扒渣和浇注,以防出现孕育退化现象				

5. 炉前三角试块法检验

（1）三角试块尺寸（见表2-95）

表2-95　三角试块尺寸

三角试块图示



B—白口宽度
C—白口深度
D—麻口层

编号	适用白口宽度/mm	试样尺寸/mm		
		h	*A*	*L*
1	6	25	12.5	130
2	10	40	20	130
3	12	50	25	150
4	25	100	50	150

（2）白口宽度与灰铸铁牌号的对应关系（见表2-96）

表2-96　白口宽度与灰铸铁牌号的对应关系

白口宽度/mm	0~2	2~4	3~5	4~7	6~9	6~11
灰铸铁牌号	HT100	HT150	HYT200	HT250	HT300	HT350

（3）孕育铸铁孕育前、后三角试块白口宽度的允许范围（见表2-97）

表 2-97　孕育铸铁孕育前、后三角试块白口宽度的允许范围

牌　号	三角试样白口宽度/mm		前后白口宽度比值
	孕育前	孕育后	
HT250	6 ~ 121	3 ~ 9	(1.3 ~ 2.0)∶1
HT300	8 ~ 15	4 ~ 11	(1.4 ~ 2.0)∶1
HT350	9 ~ 20	4 ~ 13	(1.5 ~ 2.5)∶1

（4）某车间按铸件壁厚控制的三角试块白口宽度（见表 2-98）

表 2-98　某车间按铸件壁厚控制的三角试块白口宽度

牌　号	铸件壁厚/mm	三角试块白口宽度/mm		FeSi75 加入量（质量分数,%）
		原铁液	孕育后	
HT250	8 ~ 15	6 ~ 12	3 ~ 4	0.4 ~ 0.5
	35		5 ~ 7	
	60		7 ~ 9	
HT300	15	8 ~ 15	4 ~ 6	0.55 ~ 0.90
	35		7 ~ 9	
	60		9 ~ 11	
HT350	20	9 ~ 12	4 ~ 6	0.65 ~ 1.05
	35		9 ~ 11	
	60		11 ~ 13	

6. 灰铸铁的冶金质量指标（见表 2-99）

这些指标兼顾了铸铁的力学性能和工艺性能。适用于工程结构件（如内燃机缸体、传动箱体、一般机床铸件等）的生产。但不适用于要求耐磨、高硬度等特殊件的生产。

表 2-99　灰铸铁的冶金质量指标

序号	冶金质量指标	概　念	冶金质量指标值	
			波动范围	控制值
1	成熟度(RG)	在 ϕ30mm 试棒上测得的抗拉强度值同由共晶度算出的抗拉强度之比,称之为成熟度。适当的过热和良好的孕育处理,能提高 RG 值	RG = 0.5 ~ 1.5	RG = 1.15 ~ 1.30 当 RG < 1,表明孕育效果不良
2	相对强度(RZ)	用在 ϕ30mm 试棒上测得的抗拉强度值和测得的布氏硬度值之比,称之为相对强度	RZ = 0.5 ~ 1.5	RZ = 1.15 ~ 1.30

（续）

序号	冶金质量指标	概　　念	冶金质量指标值	
			波动范围	控制值
3	相对硬度（RH）	用在 ϕ30mm 试棒上测得的布氏硬度值同计算出的硬度值之比，称为相对硬度。RH 值低，表明灰铸铁强度高而硬度低，有良好的可加工性。强化孕育可降低 RH 值	RH＝0.6～1.2	RH＝0.8～1.0
4	硬度化（HG）	用在 ϕ30mm 试棒上测得的布氏硬度值同共晶度或凝固区间计算的硬度值之比，称之为硬化度	—	—
5	品质系数（Q_i）	灰铸铁成熟度与硬化度之比，称为品质系数。用品质系数来衡量各种工艺措施提高灰铸铁质量的程度	Q_i＝0.7～1.5	Q_i＞1.0

2.3.10　球墨铸铁的熔炼工艺

1. 球墨铸铁化学成分（见第 1 章 1.2.3 节）

2. 球化剂与孕育剂

（1）球化剂　为使铸铁中的石墨结晶成为球状而加入铁液中的添加剂称为球化剂。最常用的球化剂是稀土硅铁镁合金，稀土硅铁镁合金的密度为 4.5～4.6g/cm^3，熔点约为 1100℃。球化剂加入量（质量分数）一般为 1.1%～1.7%，铁液中含硫量越高，则加入量越多。

1）稀土硅铁镁合金的牌号及化学成分见表 2-100 和表 2-101。

表 2-100　稀土硅铁镁合金的牌号及化学成分（质量分数）（GB/T 4138—2004）

（%）

牌号	RE	Ce/RE	Mg	Ca	Si	Mn	To	MgO	Fe
		≥			≤				
195101A	0.5～＜2.0	46	4.5～＜5.5	1.5～3.0	45	1.0	1.0	1.0	余量
195101B	0.5～＜2.0	46	5.5～＜6.5	1.5～3.0	45	1.0	1.0	1.0	余量
195101C	0.5～＜2.0	46	6.5～＜7.5	1.0～2.5	45	1.0	1.0	1.0	余量
195101D	0.5～＜2.0	46	7.5～＜8.5	1.0～2.5	45	1.0	1.0	1.0	余量
195103A	2.0～＜4.0	46	6.0～8.0	1～＜2	45	1.0	1.0	1.0	余量
195103B	2.0～＜4.0	46	6.0～8.0	2.0～3.5	45	1.0	1.0	1.0	余量
195103C	2.0～＜4.0	46	7.0～9.0	1～＜2	45	1.0	1.0	1.0	余量
195103D	2.0～＜4.0	46	7.0～9.0	2.0～3.5	45	1.0	1.0	1.0	余量

（续）

牌号	RE	Ce/RE ≥	Mg	Ca	Si	Mn	To	MgO	Fe
					≤				
195105A	4.0 ~ <6.0	46	7.0 ~ 9.0	1 ~ <2	44	2.0	1.0	1.2	余量
195105B	4.0 ~ <6.0	46	7.0 ~ 9.0	2.0 ~ 3.0	44	2.0	1.0	1.2	余量
195107A	6.0 ~ <8.0	46	7.0 ~ 9.0	1 ~ <2	44	2.0	1.0	1.2	余量
195107B	6.0 ~ <8.0	46	7.0 ~ 9.0	2.0 ~ 3.0	44	2.0	1.0	1.2	余量
195107C	6.0 ~ <8.0	46	9.0 ~ 11.0	1.0 ~ 3.0	44	2.0	1.0	1.2	余量
195109	8 ~ <10	46	8.0 ~ 10.0	1.0 ~ 3.0	44	2.0	1.0	1.2	余量
195118	17 ~ 20	46	7.0 ~ 10.0	1.5 ~ 3.5	42	2.0	2.0	1.2	余量

表 2-101　机械行业标准球化剂的牌号及化学成分（质量分数）（JB/T 9228—1999）

（%）

牌号	Mg	RE	Si	Ca	Mn	Al	Ti	Fe
					≤			
QRMg5RE1	4.0 ~ <6.0	0.5 ~ <1.5	35 ~ 44	1.5 ~ 2.5	4.0	0.5	0.5	余量
QRMg7RE1	6.0 ~ <8.0	0.5 ~ <1.5	35 ~ 44	≤4.0	4.0	0.5	0.5	余量
QRMg6RE2	5.0 ~ <7.0	1.5 ~ <2.5	35 ~ 44	2.0 ~ 3.0	4.0	0.5	0.5	余量
QRMg7HRE2	6.0 ~ <8.0	1.5 ~ <2.5（HRE）	35 ~ 44	≤4.0	4.0	0.5	0.5	余量
QRMg8RE3	7.0 ~ <9.0	2.5 ~ <4.0	35 ~ 44	2.0 ~ 3.5	4.0	0.5	1.0	余量
QRMg8RE5	7.0 ~ <9.0	4.0 ~ <6.0	35 ~ 44	≤4.0	4.0	0.5	1.0	余量
QRMg8RE7	7.0 ~ <9.0	6.0 ~ <8.0	35 ~ 44	≤4.0	4.0	0.5	1.0	余量
QRMg10RE7	9.0 ~ <11.0	6.0 ~ <8.0	35 ~ 44	≤4.0	4.0	0.5	1.0	余量
QLMg6RE2	5.5 ~ 6.5	1.5 ~ <2.5	4.0 ~ 5.0	≤4.0	1.3	0.5	0.4	余量
QLMg8RE3	7.5 ~ 8.5	2.5 ~ 3.5	4.5 ~ 5.5	≤0.5	1.4	0.5	0.6	余量
QLMg8RE5	7.5 ~ 8.5	4.5 ~ 5.5	7.5 ~ 8.5	≤0.5	1.6	0.5	1.0	余量
Mg99	≥99.85	—	0.03	—	—	0.05	—	≤0.05

注：1. Q、R、L 分别为球化剂、热熔炼法、冷压制法的汉语拼音字母。HRE 为重稀土的代号。

2. 稀土镁硅铁合金球化剂的供货粒度分三个档次：5 ~ 15mm、10 ~ 25mm、20 ~ 40mm。标外粒度不得超过总重量 5%。

根据供需双方协商也可大块供货。低硅压块球化剂供货粒度由供需双方协商确定。

3. 球化剂中的氧化镁的质量分数不得大于 1.0%。球化剂不得粉化。

4. 稀土镁硅铁合金球化剂断面呈蓝灰色。新压制成的低硅压块球化剂呈均匀银白色块状物，存放后呈银灰色。

2）球化剂的推荐使用条件见表2-102。

表2-102　球化剂的推荐使用条件（JB/T 9228—1999）

序号	球化剂牌号	推荐使用条件			适用条件	说　　明
		原铁液				
		熔炼方法	处理温度/℃	w(S)(%)		
1	QRMg5RE1	冲天炉-脱硫-电炉	1450~1520	≤0.02	铁素体球铁件	所推荐适用铸件类型并无绝对界限
2	QRMg6RE2			≤0.03	珠光体球铁件	
3	QRMg8RE3	电炉	1450~1520	0.025~0.04	铁素体球铁件	
4	QRMg8RE5				珠光体球铁件	
5	QRMg8RE7	冲天炉	1400~1450	0.06~0.10	各类球铁件	
6	QRMg10RE7					
7	QRMg7RE1	冲天炉-脱硫-电炉	1450~1520	≤0.02	大断面球铁件	生产珠光体铸铁件时，可熔入或外加适量的Cu、Ni等金属
8	QRMg7HRE2	电炉		≤0.05		
9	QLMg6RE2	冲天炉、电炉	1400~1520	≤0.1	各类球铁件	可单独使用，也可与普通球化剂混合使用
10	QLMg8RE3					
11	QRMg8RE5					必要时可加适量稀土镁硅铁合金
12	Mg99					

3）球化剂粒度根据浇包容量选定，见表2-103。

表2-103　球化剂粒度的选用

处理铁液量/kg	<100	100~500	>500
球化剂粒度/mm	5~15	10~25	20~40

（2）孕育剂　球墨铸铁的孕育剂种类较多，大多数采用FeSi75合金。

1）适用于各种不同用途的孕育剂，见表2-104。

表2-104　适用于各种不同用途的孕育剂

孕育剂名称	化学成分(质量分数,%)								应用范围
	Si	Ca	Al	Ba	Mn	Sr	Bi	Fe	
硅铁	74~79	0.5~1	0.8~1.6	—	—	—	—	余量	常规
硅铁	74~79	<0.5	0.8~1.6	—	—	—	—	余量	常规
钡硅铁	60~65	0.8~2.2	1~2	4~6	8~10	—	—	余量	长效、大件、熔点低
钡硅铁	63~68	0.8~2.2	1~2	4~6	—	—	—	余量	长效、大件
锶硅铁	73~78	≤0.1	≤0.5	—	—	0.6~1.2	—	余量	薄壁件、高镍耐蚀铸件
硅钙	60~65	25~30	—	—	—	—	—	余量	高温铁液
铋	—	—	—	—	—	—	≥99.5	余量	与硅铁复合、薄壁件

2）孕育剂加入量。一般在 0.8% ~1.2% 范围内，铁素体球墨铸铁取上限，珠光体球墨铸铁可略少，其量应根据炉前三角试块白口宽度及铸件要求进行调整。采用复合孕育剂时其加入量可减少。

3）孕育剂加入前应预热。

4）球墨铸铁孕育剂粒度。根据浇包容量选定，见表 2-105。

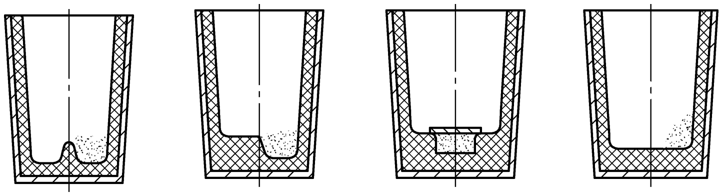
表 2-105　球墨铸铁孕育剂粒度选用

浇包容量/kg	≤20	20 ~ 200	200 ~ 1000	500 ~ 2000	2000 ~ 10000
孕育剂粒度/mm	0.2 ~ 1	0.5 ~ 2	1.5 ~ 6	3 ~ 12	8 ~ 32

（3）球化处理工艺　球化处理方法较多（如冲入法、压力加镁法、型内球化处理、镁团块球化剂、GF 转包处理法、镁焦炭法、密封流动法、喂丝法等），各具特点，分别用于不同的生产条件。其中，冲入法的设备简单、操作简便、适应性广，是迄今为止国内外应用最广泛的球化处理工艺。

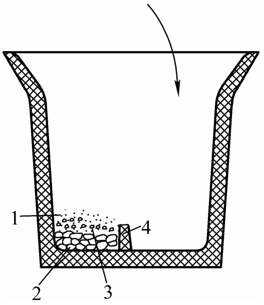
1）冲入法球化处理铁液包见表 2-106。

表 2-106　冲入法球化处理浇包

球化处理浇包图示	 堤坝式　凹坑式　洞穴式　平底式
结构特点	1）球化处理包的深度 h 与内径 D 之比，$\frac{h}{D}=1.5\sim1.8$，包细而深，有较长距离使铁液吸收镁蒸气 2）堤坝（或凹坑）内面积占包底 2/5 ~ 1/2，堤高或坑深，以能容纳球化剂和其他覆盖剂即可
使用要求	1）使用前，包底的残渣、废铁应清除干净 2）使用前，先将处理包预热至 600 ~ 800℃，呈暗红或红色
使用球化剂	稀土镁硅铁合金
应用	常用堤坝式包底。也可用凹坑式或洞穴式。也可用平底包，但球化剂吸收率较低
特点	此法优点是操作方便，在严格监控下，可以实现稳定生产。缺点是镁的吸收率低，由于镁在空气中大量燃烧，导致闪光和烟雾，使劳动环境恶化。盖包法处理装置可以克服上述缺点

2）冲入法球化处理的工艺要点见表 2-107。

表 2-107　冲入法球化处理的工艺要点

<table>
<tr><td>图示</td><td colspan="2">

1—珍珠岩(或草灰)　2—稀土硅铁镁合金　3—孕育剂(硅铁粉)　4—坝墙</td></tr>
<tr><td>工序</td><td colspan="2">冲入法工艺操作要点</td></tr>
<tr><td>选用
球化剂</td><td colspan="2">采用稀土硅铁镁球化剂。其含镁量与处理铁液温度的关系如下：
<table>
<tr><td>铁液温度/℃</td><td>1400 ~ 1450</td><td>1450 ~ 1500</td><td>1500 ~ 1550</td></tr>
<tr><td>稀土硅铁镁合金含镁量(质量分数,%)</td><td>8 ~ 10</td><td>6 ~ 8</td><td>5 ~ 6</td></tr>
</table>
球化剂中稀土含量应低于镁含量。
案例:铁液温度 1450℃,w(S) = 0.06% ~ 0.10%,可选用 w(Mg)为 8%,w(RE)为 3% ~ 5% 的球化剂
在处理铁液量 0.5 ~ 3.0t、温度在 1400 ~ 1430℃时,球化剂粒度为 10 ~ 30mm,粉状物质量分数≤10%
球化处理后,0.5 ~ 3.0t 包铁液降温 50 ~ 100℃。冲入法镁的吸收率为 25% ~ 40%</td></tr>
<tr><td>球化剂
装载</td><td colspan="2">1) 将球化剂(稀土镁硅铁合金)放入堤坝(或凹坑)内,平底包可放入一侧
2) 表面覆盖硅铁 FeSi75(粒度等于小于球化剂的粒度,是孕育剂量的一部分)
3) 合金适当紧实,表面覆盖草灰(或珍珠岩)。当铁液温度较高时,为延缓反应,其上还盖以铁板,或钢板,或铁屑
4) 如需脱硫,将脱硫剂(苏打、电石等)放于堤坝或凹坑的另一侧</td></tr>
<tr><td rowspan="3">出铁
处理</td><td>一次出铁</td><td>1) 铁液冲向包内未放球化剂的一侧
2) 要求原铁液温度≥1450℃,w(S) < 0.1%
3) 冲入 2/3 ~ 1/2 的铁液,充满高度低于处理包深度 200 ~ 250mm</td></tr>
<tr><td>球化反应</td><td>1) 冲入后正常球化反应(沸腾)2 ~ 4min,没有爆发性飞溅
2) 如迟迟不反应,需用铁棒捅破覆盖层引爆</td></tr>
<tr><td>补加铁液
(孕育处理)</td><td>1) 后补其余 1/3 ~ 1/2 铁液时,可随流于出铁槽内加入剩余部分的孕育剂(硅铁),并充分搅拌使孕育剂均匀熔化入铁液中
2) 正常情况下,补铁液时,铁液面上有火苗窜出,若无火苗,应适当补加球化剂
3) 控制出铁总量。过多,引起球化不良;过少,会大量出现白口,增加收缩,造成退火和加工困难</td></tr>
</table>

（续）

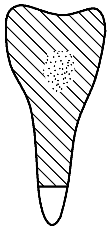
工序	冲入法工艺操作要点
扒渣	1）加集渣剂草灰，或珍珠岩 2）搅拌铁液后，彻底扒渣
覆盖草灰	盖草灰保温，并防止回流
炉前检验	1）深入液面下取样浇三角试块，球化合格后，立即浇注 2）炉前球化质量检验方法，见表 2-108

注：冲入法球化处理中的孕育处理，是把孕育剂全部覆盖在包内的球化剂上，冲入铁液进行球化同时发生孕育作用。或把孕育剂的一部分覆盖在包内的球化剂上，其余部分放在出铁槽上，靠铁液冲入包内，称一次孕育（包内孕育）。

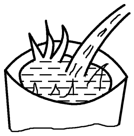
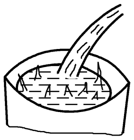
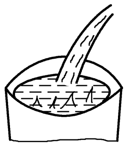
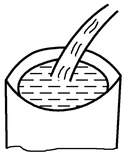
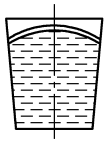
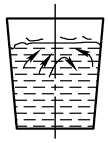
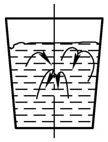
（4）球墨铸铁的炉前检验　在球化和孕育以后，必须对铁液的球化质量进行迅速而准确的判断，确认球化良好时方可进行浇注，以免造成浪费。

1）球化质量的炉前检验方法见表 2-108。

表 2-108　炉前球化质量检验方法

检验方法	方法要领	简图		判断	
				球化良好	球化不良
三角试块判断法	球化孕育处理搅拌扒渣后，从液面下取铁液浇注三角试块，待试样冷却到暗红色（600～700℃）取出淬水急冷，打断后，看断面的收缩、颜色、气味等特征		圆角	试样呈较大圆角	试样棱角清晰
			缩凹	三角试块顶面和两侧有缩凹	无缩凹
			颜色	断口细密如绒，或银灰色细密	暗灰粗晶粒，或银灰色分布细小黑点
			缩松	断口中心有缩松	无缩松
			白口	断口尖端白口清晰	完全无白口，且断口灰暗
			敲击声	清脆金属声	低哑如击木声
			气味	淬水后敲断的断面有电石气味	与水无气味

（续）

检验方法	方法要领	简图		判断	
				球化良好	球化不良
火苗判断法	球化后的铁液，在补加铁液搅拌倒包时，铁液表面有火苗窜出（是镁蒸气溢出燃烧时产生的）火苗越多、越长、越有力，则球化越好 但铁液温度偏高时，火苗有萎缩现象		球化良好	大于 40mm 的大火苗 3 个以上，小火苗多而有力	
			球化较好	有一两个大火苗，伴有十个以上小火苗	
			球化一般	火苗小于 15mm，且少而无力	
			不球化	看不到火苗	
铁液表面膜判断法	与灰铸铁不同，球化处理后铁液表面有一层厚的氧化膜，这个特征纯镁球墨铸铁较稀土镁球墨铸铁更突出		球化	铁液表面平静，并覆盖一层氧化皱皮。温度下降后，出现五颜六色的浮皮	
			半球化	铁液表面翻腾，氧化皱皮时断时续	
			不球化	表面翻腾剧烈（同灰铸铁一样）氧化皱皮极少，且集中在中央	

注：炉前三角试块是控制球化工艺质量的手段，不作为检验产品质量的依据。

2）炉前的现代检验方法

①炉前快速金相检验。目的是判断球化等级。将抛光试样放在金相显微镜下观察球化等级。由于试样冷却快，石墨细小，可放大 200 倍进行观察。此时，炉前试样的球化级别应高于铸件的球化级别，此项检验在 3 ~ 5min 内完成。这种炉前快速金相检验，只作为控制球化工艺质量的手段，不作为检验产品质量的依据。

②超声波声速法。目的是判断球化率。用炉前试样（或铸件）检测。采用超声波声速测量仪，工作频率 1 ~ 5MHz，测时分辨率大于 0.01μs，或测厚分辨率大于 0.01mm，不稳定度小于 0.2%，测量非线性小于 0.2%。

③共振频率振动法检测。目的通过测定铸件的共振频率，来评定球墨铸铁件的球化率。应用范围：检测六缸曲轴；检测重量≤900kg 的小型铸件。

2.3.11　铸铁的脱硫技术

要获得低硫铁液，首先应选用含硫量低的原材料（焦炭、生铁、熔剂）；必要时，可采用脱硫操作。

1. 炉内脱硫工艺

用于炉内脱硫的脱硫剂有：石灰、氟石、电石、白云石等。酸性冲天炉、碱性冲天炉、水冷无炉衬热风冲天炉的炉内脱硫及效果，见表 2-109。

表 2-109　冲天炉炉内脱硫工艺

序号	炉　型	脱硫方法及效果
1	酸性炉	1）当炉衬含 S 不高时，可适当加大石灰石量 2）经常加下列脱硫剂，但炉衬侵蚀快而严重： ①石灰要求 $w(CaO) > 85\%$，块度 > 100mm。加入批焦量质量分数的 50%，脱硫效率 20% ~ 30% ②电石兼有升温和脱硫的双重功能。宜采用共晶电石［$w(CaC_2)$ 72%，$w(CaO)$ 8%，熔点约 1640℃］。加入量 2% ~ 4%，脱硫效率 30% ~ 40% ③白云石效果良好。氟石提高渣流动性，有利于脱硫
2	碱性炉	1）镁砖或煅烧镁砂炉衬，可造高碱度（2 以上）炉渣，脱硫效果显著。炉渣碱度为 1.2 ~ 2.0 时，铁液含硫量可降到 $w(S) < 0.04\%$，但耐火材料昂贵 2）石灰石炉衬（石灰石砖由石灰石粉 100% + 盐粉 7% + 饱和盐水混合成形），在 200 ~ 250℃（烧结）可造高碱度渣，$w(S)$ 由 0.06% ~ 0.16% 脱到 0.025% ~ 0.03% 3）白云石炉衬，脱硫效果亦很好（25% ~ 30%）
3	水冷、无炉衬、热风	炉壁不限制炉渣的碱度，容易造高碱度（1.5 以上）渣，可脱硫到 $w(S) = 0.04\%$

2. 炉外脱硫工艺

（1）脱硫剂及其加入量　用于炉外脱硫的脱硫剂有：石灰、纯碱（苏打）、电石、苛性钠等。炉外脱硫常用脱硫剂及其加入量见表2-110。

表2-110　炉外脱硫常用脱硫剂及其加入量

序号	脱硫剂	脱硫反应	加入量（占铁液重量，%）	脱硫特点
1	石灰（CaO）	$CaO+S_{铁液}+C_{铁液}=CaS_{渣}+CO\uparrow$（吸热）	1～4.5	常用；价格最便宜；铁液与残渣易分离；铁液降温多；脱硫效率最低
2	电石（CaC_2）	$CaC_2+S_{铁液}=CaS_{渣}+2C$（放热）	0.3～1.5	常用；脱硫效果好，加入量较少；反应放热，铁液降温少，铁液需搅动；宜采用熔点低的共晶电石；电石较贵，易吸潮放出乙炔气，残渣污染环境
3	纯碱（Na_2CO_3）	$Na_2CO_3\xrightarrow{1300℃}Na_2O+CO_2\uparrow$（吸热） $Na_2O+S_{铁液}+C_{铁液}=Na_2S_{渣}+CO\uparrow$（吸热）	0.3～0.5	常用，操作简便；脱硫效率高，加入量少；纯碱必须烘烤或重熔，去除结晶水；脱硫渣遇SiO_2会发生回硫
4	苛性钠（NaOH）	$2NaOH=Na_2O+H_2O$ $Na_2O+S_{铁液}+C_{铁液}=Na_2S_{渣}+CO\uparrow$（吸热）		很少用；铁液降温多（100℃），苛性钠贵，腐蚀性强；脱硫效率最高；水蒸气激烈搅拌铁液，促进脱硫
5	复合脱硫剂	若干种脱硫剂组合，效果良好。如：电石＋石灰；纯碱＋电石；纯碱＋石灰＋（冰晶粉）；石灰＋氟石（CaF_2）等		

（2）常用炉外脱硫工艺　常用炉外脱硫工艺见表2-111。

表2-111　常用炉外脱硫工艺

序号	脱硫方法	操作工艺（脱硫剂的加入量、脱硫量，均为质量分数）
1	包内脱硫	1）纯碱脱硫。一般用冲入法，加入量0.3%～0.5%，脱硫30%～50%。但若$w(S_{铁液})>0.09\%$，则效果差。聚渣、扒渣用干石灰，不得用干砂（SiO_2），否则发生回硫 2）电石粉脱硫。一般撒入铁液，同时搅拌或摇动，粒度0.127～0.391mm，加入量0.3%～1.5%，可使铁液的$w(S)<0.01\%$。亦可用冲入法，加入量1%～2%，脱硫约30% 3）苛性钠脱硫。原铁液含$w(S)$0.06%～0.30%，加入量0.9%～1.5%，脱硫90%～94%。铁液降温100℃ 4）复合脱硫剂脱硫。成分及配量（质量分数）如下： ①纯碱0.4%＋电石粉0.2% ②纯碱0.4%＋电石粉0.2%＋冰晶石粉0.15% ③电石粉0.4%＋氟石粉0.4% ④石灰粉0.4%＋冰晶石粉0.3% ⑤纯碱0.3%＋锰铁0.5%

（续）

序号	脱硫方法	操作工艺（脱硫剂的加入量、脱硫量，均为质量分数）
2	摇包脱硫	将脱硫包放在摇动架上，借助偏心摇动，使撒入的脱硫剂（CaC_2）与铁液充分接触 电石加入量1%～1.5%，摇动时间4～5min，脱硫80%～90%，降温70～100℃。要求原铁液温度>1450℃。或二次升温。处理量宜大
3	多孔塞包脱硫	在包底通过多孔塞向铁液吹入氮气或空气 电石加入量0.5%～1%，脱硫率70%～90%，$S_{铁液}$<0.015%。要求铁液温度>1450℃（国外要求1500℃），处理量不宜太大
4	吹气搅拌脱硫	石墨管插入铁液，吹氮气，电石粒度0.3～1.0mm，加入量1.5%，吹5min，脱硫80%，降温50℃
5	机械搅拌脱硫	“T”形氧化铝管插入铁液中，以68r/min旋转，铁液被不断吸入和甩出 电石粒度1.5mm，加入量0.75%，铁液含w(S)0.08%～0.10%降至0.01%以下 适于大型浇包
6	电磁搅拌脱硫	利用电磁对铁液的搅拌作用，同时加入脱硫剂，使铁液和脱硫剂充分接触。脱硫效果达60%～80%
7	出铁槽旋流器脱硫	旋流器位于出铁槽前端。出铁时撒入1%～2%的电石（粒度0.3～1.0mm）。铁液旋流而下，脱硫约54%。适用于大型浇包
8	连续脱硫	铁液从冲天炉出铁槽流出后，经过多孔塞包脱硫，直接流入铁水包 电石加入量0.5%，铁液含硫0.10%降至0.08%～0.012%。铁液降温少

2.4 感应电炉熔炼铸铁

感应电炉熔炼铸铁一般采用酸性炉衬。用感应电炉熔炼铸铁，可以准确地控制和调节铁液的成分和温度，易于获得高纯度的低硫铁液，元素烧损少。因此，越来越多中、小铸造厂开始将中频感应电炉用于铸铁熔炼，而工频感应电炉则主要用于与冲天炉配合进行双联熔炼。感应电炉分为无芯感应电炉和有芯感应电炉。

2.4.1 无芯感应电炉熔炼铸铁

1. 无芯感应电炉的型号规格

（1）无芯工频感应电炉的规格型号（见表2-112）

（2）用于熔炼的中频无芯感应电炉的型号规格（见表2-113）

（3）用于保温的中频无芯感应电炉的型号规格（见表2-114）

表 2-112　无芯工频感应电炉的规格型号

型号	额定容量/t	额定功率/kW	变压器容量/kV·A	额定电压/V	工作温度/℃	1450℃		升温 100℃		冷却水流量/(m^3/h)
						熔化率/(t/h)	电耗/(kW·h/t)	升温能力/(t/h)	电耗/(kW·h/t)	
GW-0. 75-270	0. 75	270	400	500	1450	0. 39	685	5. 33	51	6
GW-1-360	1	360	500	500	1450	0. 55	650	7. 23	50	7. 2
GW-1. 5-500	1. 5	500	630	750	1450	0. 82	607	11. 14	45	9. 5
GW-3-800	3	800	1000	1000	1450	1. 39	575	18. 80	42. 5	14. 2
GW-3-480	3	480	630		1450			10. 67	45	
GW-5-1300	5	1300	1600	1000	1450	2. 40	542	32. 40	40. 2	20. 5
GW-5-520	5	520	630		1450			11. 15	45. 2	
GW-7-1580	7	1580	2000	2000	1450	2. 92	541	39. 50	40	24. 8
GW-7-780	7	780	1000		1450			18. 10	43. 2	
GW-10-2500	10	2500	3150	2000	1450	4. 78	524	64. 61	38. 7	
GW-10-800	10	800	1000		1450			18. 50	43. 5	
W-15-3000	15	3000	4000	2000	1450	5. 84	514	78. 91	38	
GW-15-1100	15	1100	1600		1450			26. 32	42	
GW-ZO-3900	20	3900	5000	3000	1450	7. 70	507	104	37. 5	
GW-ZO-1670	20	1670	2000		1450			33	41. 2	
GW-Z5-4900	25	4900	6300	3000	1450	9. 76	502	132	37. 2	
GW-Z5-1670	25	1670	2000		1450			40	41	
GW-30-6000	30	6000	8000	3000	1450	12. 0	497	163	36. 8	
GW-30-1670	30	1670	2000		1450			40	41	

表 2-113　用于熔炼的中频无芯感应电炉的型号规格

主要参数＼型号	GW-0. 15T	GW-0. 25T	GW-0. 5	GW-1T	GW-1. 5T	GW-2T	GW-3T	GW-5T	GW-6T	GW-7T
额定功率/kW	150	250	400	800	1200	1500	2000	3000	3500	4000
进线电压/V	380	380	380	380 ~ 660	380 ~ 660	380 ~ 660	580 ~ 660	580 ~ 660	660	660
熔化率/(t/h)	0. 15	0. 25	0. 5	1	1. 5	2	3	5	6	7
耗水量/(t/h)	5	7	10	18	22	28	35	45	50	55
耗电量/(kW·h/t)	780	760	720	650 ~ 620	630 ~ 600	610 ~ 590	600 ~ 580	600 ~ 580	600 ~ 580	600 ~ 580
额定电压/V	750	750	1400	1400 ~ 2500	1400 ~ 2500	1400 ~ 2500	2300 ~ 2500	2300 ~ 2500	2500	2500
额定容量/t	0. 15	0. 25	0. 5	1	1. 5	2	3	5	6	7
额定温度/℃	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600

表 2-114　用于保温的中频无芯感应电炉的型号规格

主要参数＼型号	GWBZ3	GWBZ5	GWBZ7	GWBZ10	GWBZ10	GWBZ15	GWBZ20
	350/0.8	550/0.6	750/0.5	1000/0.5	1000/0.5	1500/0.3	2000/0.3
额定容量/t	3	5	7	10	10	15	20
额定功率/kW	350	550	750	1000	1000	1500	2000
进线电压/V	380	380	380	380	660	660	660
电源频率/Hz	50	50	50	50	50	50	50
电源相数	3	3	3	3	3	3	3
额定温度/℃	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
升温能力①/(t/h)	7.2	12.8	17.6	24	24.5	36	47
输出频率/Hz	200～600	200～600	100～500	100～500	100～500	100～300	100～300
炉体电压/V	1500	1500	1500	1500	2500	2500	2500
耗电量/(kW·h/t)	49	44	43	42	40	39	38
耗水量/(t/h)	9	12	15	21	20	28	36

① 升温能力，系指电炉使炉内铁液温度升高 100℃的能力。

2. 修炉与烘炉

(1) 修炉

1) 无芯感应电炉的修炉程序及内容见表 2-115。

表 2-115　无芯感应电炉的修炉程序及内容

程序	主要内容	程序	主要内容
1	检查感应线圈、胶木垫块和耐火砖等，并在感应圈内表面、胶木垫块及磁轭内侧涂上绝缘漆	4	采用定位法和测量法，安装钢坩埚模
		5	逐层填入耐火材料并打实，填筑坩埚壁
2	在感应线圈内表面以及磁轭内侧、磁轭底部的耐火砖的面上垫铺隔热绝缘层	6	填筑炉口和炉嘴
3	逐层填入耐火材料并打实，填筑坩埚底部	7	吊出钢坩埚模具的起熔体，准备烘炉

2) 修筑坩埚用的耐火材料见表 2-116。

表 2-116　修筑坩埚用的耐火材料

坩埚部位	耐火材料种类		化学成分(质量分数,%)	主要用途
熔炼部分	酸性	硅质炉衬	$SiO_2>98$, $Al_2O_3<0.2$, $Fe_2O_3<0.5$	用于灰铸铁和可锻铸铁
		电熔石英质炉衬	$SiO_2>99$, $Fe_2O_3<0.5$	
		锆石质炉衬	$ZrO_2=20\sim60$, $SiO_2=30\sim70$	
	中性	高铝质炉衬 多铝红柱石质炉衬	$Al_2O_3>85$, $SiO_2<15$ $Al_2O_3=70\sim80$, $SiO_2=20\sim30$	用于合金铸铁和球墨铸铁
	碱性	镁质炉衬	$MgO>85$, $Al_2O_3<10$, $(Fe_2O_3,SiO_2)<0.5$	
		尖晶石质炉衬	$MgO=70\sim80$, $Al_2O_3=20\sim30$	
		尖晶石镁质炉衬	$MgO>75$, $Al_2O_3<25$	
感应线圈保护部分	矾土水泥		$Al_2O_3>90$, $SiO_2<10$	
	硅质水泥		$SiO_2>83$, $Al_2O_3<10$	
炉口部分	石墨膏		$C=15\sim20$, $SiO_2=70\sim80$, $Al_2O_3=5\sim10$	
	铸造烟灰泥		$Al_2O_3>70$, $SiO_2<30$, $CaO<5$	

3）修筑坩埚用耐火材料一般都是硅砂，硅砂坩埚材料的配比见表 2-117。

表 2-117　硅砂坩埚材料的配比（质量分数）　　（%）

硅砂					粘结剂			应　用
6～12号筛	12～20号筛	20～40号筛	40～100号筛	>140号筛	工业用硼酸	水	水玻璃	
30	40	—	10	20	1.5	—	—	主要用于炉底和炉壁
					1.8	—	—	主要用于炉口
38	12	—	35	15	1.8	—	—	主要用于炉底和炉壁
					2～2.4	—	—	主要用于炉口
15	8	15	24	38	3.0	1～1.5	—	主要用于炉底和炉壁
							4～5	主要用于炉口

熔炼合金铸铁和球墨铸铁时，常用高铝质和镁质耐火材料，镁质坩埚材料的配比见表 2-118。

表 2-118　镁质坩埚材料的配比（质量分数）　　（%）

电炉容量/kg	坩埚材料组成		粒度组成				粘结剂①
	一等镁砂	电熔镁砂	硼酸	3～5mm	1～3mm	<1mm	硼酸
10～30	70～80	30～20	—	30	45	25	1.3～1.5
250～3000	50～20	50～80	20	25	35	20	

① 粘结剂除硼酸外，还可用以下任意一种（质量分数,%）：水玻璃粘结剂 5%；或水玻璃-硼酸粘结剂（硼酸 1% + 水玻璃 5%）；或粘土-硼酸粘结剂（硼酸 1.5% ～1.8% + 粘土 1% ～1.5%）。

4）坩埚的修筑操作方法见表 2-119。

表 2-119　坩埚的修筑操作方法

大修（或新修）		中　修	
工序	操作要点	工序	操作要点
在感应线圈内圆表面、胶木垫块以及轭铁内侧涂上绝缘漆	如有损坏，待修补好后，涂挂有机漆，或酚醛绝缘漆	在原坩埚内表面撒上适量硼酸水溶液	坩埚内表面清除干净，撒上硼酸水溶液
在感应线圈内圆表面以及轭铁内侧、轭铁底部的耐火砖面上，垫上隔热绝缘层	要尽量使各绝缘层不发生裂缝等现象，以保证每层绝缘效果，如有裂纹应用同种材料垫补上	修补坩埚底部	修补方法与大修时基本相同
填筑坩埚底部	逐层用捣固平锤紧实。第一层浮材料铺 100mm，以后每层都不宜超过 50～60mm，最后应高出炉底 10～30mm，再用平锤捣实后刮平，炉底应保持水平	放入起熔体修补坩埚壁下部	放入起熔体时力求放在中心位置 其修补方法与大修时基本相同
放置钢坩埚模	放置钢坩埚模时，应使炉衬壁厚尽可能均匀，当钢坩埚模放置好后，可在其中放入一块起熔体，以把它压平	放置下钢圈，修补坩埚壁中部	先将上下两钢圈对好同时吊入，将钢圈底脚搁在起熔体上，使其尽量位于中心，用粉笔在上下两钢圈内表面接缝处作出定位记号，然后取出上钢圈，固定下钢圈 其修补方法与大修时基本相同
填筑坩埚壁	填筑方法与填筑坩埚底部同	放置上钢圈，修补坩埚壁上部	先把下钢圈的紧固绳子松开，取出木棒，并按原定位记号，把上钢圈套在下钢圈上面。用白泥把上下钢圈的接缝封住，固定上钢圈 其修补方法与大修时基本相同
填筑炉口和炉嘴	先涂以适量水玻璃，然后填筑，并小锤子打结实。炉嘴呈外高内低的斜面，以防金属液外溢	修补炉口和炉嘴	修补方法与大修时相同

（2）烘炉　修炉完成并经试验运转后，进行烘炉。烘炉时要求缓慢均匀地升温加热。无芯感应工频电炉升温到钢坩埚即将软化（约1100℃），可投入第一炉料，进一步烧结，其烘烤和烧结时间参考表2-120。

表2-120　硅砂坩埚烘烤、烧结时间（参考）

炉子容量/t	0.15	0.5	1.5	3	5	10
烘烤时间/h	7～9	8～10	10～11	12～16	12～18	24～30
烧结时间/h	3～5	3～5	4～6	5～7	8～10	12～14

3. 炉内元素烧损率和外加合金元素吸收率

1）酸性无芯感应炉和有芯感应炉熔炼时，炉内元素烧损都较小，元素烧损率见表2-121。

表2-121　炉内元素烧损率（质量分数）　（%）

元　素	C	Si	Mn	P	S
酸性无芯感应炉熔炼	1～7	1～10	1～15	变化不大	
有芯感应炉熔炼	1～5	1～8	1～12	变化不大	

2）外加合金元素的吸收率较高，见表2-122。

表2-122　外加合金元素的吸收率（质量分数）　（%）

元素	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	P
合金	硅铁	锰铁	铬铁	镍	铜	钼铁	磷铁
吸收率(%)	100	80	75	100	100	80	70

4. 工频无芯感应电炉的熔炼操作要点（见表2-123）

表2-123　工频无芯感应电炉的熔炼操作要点

序号	工　序	操作要点(残液熔化法)
1	加起熔体	如果是冷炉或炉内没留铁液时，应先加入起熔体，以加快熔化速度(即冷起熔时，加重量为装料量10%～30%的起熔体。热起熔时，加重量为装料重量15%～30%的铁液) 通常起熔体是整块状的，也可用几块较大的铁料进行代替。如果起熔体的尺寸较小，则可将它靠近炉壁放置，否则熔化速度会大大减慢
2	加炉料	为加快熔化速度和减少损耗，通常熔点较低、元素烧损较小的炉料先加，熔点较高、元素烧损较大的炉料后加，铁合金应最后加入 加料时须特别注意，冷温炉料和镀锌炉料要加在其他炉料上面，让其慢慢进入铁液中，以避免铁液飞溅

（续）

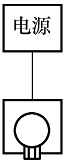
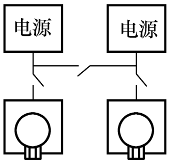
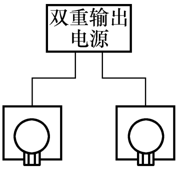
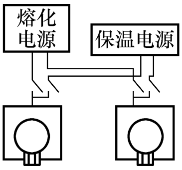
序号	工　　序	操作要点（残液熔化法）
3	通电熔化	炉料加入后，即可通低电压进行预热，然后再改用高电压送电，以使起熔体和炉料自下而上地慢慢加热和熔化 在熔化中，应经常观察坩埚的侵蚀情况和炉子功率表，若有漏炉危险时，应立即停止熔化
4	炉前质量控制	分析化学成分，观察三角试块断面，测定铁液温度，观察气体及炉渣情况等
5	出炉	出炉时，应根据下一炉的情况而决定炉内留或不留铁液，如材质不变或类似，应留部分铁液熔炼结束，炉内一般不宜留下铁液以防炉子上下温差较大，坩埚容易产生裂纹

5. 中频无芯感应电炉的熔炼操作

中频无芯感应电炉采用批料熔化法，冷起熔时不加起熔体，而直接把炉料加入炉中就可以进行熔炼。或每次都将金属液倒掉，然后重新向炉内加满金属料，在不带剩余金属液的情况下开始熔化作业。

为满足铸造作业的要求，电源与电炉应合理配置。中频无芯感应电炉的电源配置方案见表 2-124。

表 2-124　中频无芯感应电炉的电源配置方案

电炉与电源配置方案	方 案 特 点	应用范围	电炉与电源配置方案	方 案 特 点	应用范围
	简单可靠	适合于熔化后炉内金属液倒空，再重新加料熔化的中小铸造厂		通过开关切换，两台感应炉可交替作业，可将向熔化作业供电的电源短时间内切换到处于浇注保温作业状态的感应炉，以补偿浇注作业的降温	适用于需要连续供应铁液的铸造作业
	一台电源可以同时向两台感应炉供电，这种双重输出电源向每台感应炉输出的功率可在 0% ~ 100% 的范围内调节，功率利用系数几乎可达 100%	适用于单位时间内，铁液需求波动较大的铸造作业		通过开关切换，保温电源既可与熔化电源同时进行熔化作业，又可切向处于保温状态的感应炉，以补偿浇注作业的降温	

2.4.2　冲天炉-无芯感应电炉双联熔炼

将冲天炉熔化的合格铁液倒入感应电炉进行保温、过热、化学成分调整，称这种熔炼铁液的方法为“冲天炉-感应电炉双联熔炼”。双联熔炼可以充分发挥冲天炉和电炉的优势，收到良好的技术经济效果。

1. 冲天炉-无芯感应电炉双联熔炼的连接方式（见图 2-9）

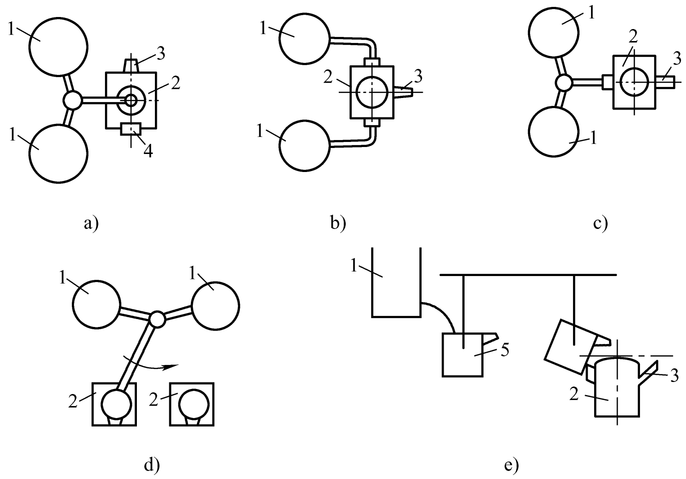


图 2-9 “冲天炉-无芯感应电炉”双联熔炼时的连接（或铁液进入的方式）
a）铁液从炉顶进入（直接） b）铁液从一端轴颈进入（直接）
c）铁液从一端轴颈进入，从另一端轴颈流出（直接） d）铁液交替进入两台炉子（间接） e）用浇包转注（间接）
1—冲天炉 2—无芯感应电炉 3—出铁口 4—出渣口 5—浇包

2. 双联熔炼炉的合理选配

1）双联熔炼时，是否连续使用，在选配时可参考图 2-10。

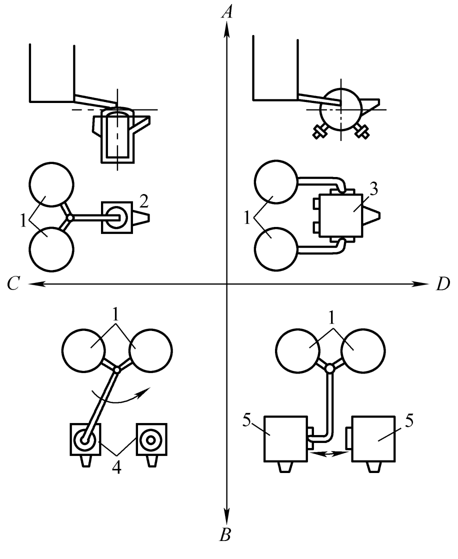


图 2-10 双联熔炼时熔炉选配参考图
A—连续使用 *B*—间隙使用 *C*— 一般作业 *D*—三班作业
1—冲天炉 2—双联专用无芯感应电炉 3—双联专用有芯感应电炉
4—普通无芯感应电炉 5—普通有芯感应电炉

2）双联熔炼炉容量的选配，可参考表 2-125。

表 2-125　双联熔炼炉容量的选配

双联方式	主要功用	炉容量之比	双联方式	主要功用	炉容量之比
间接	用于储存	$\frac{储存炉容量 Q}{熔化炉容量 q}=4\sim6$	间接（或直接）	用于过热	$\frac{过热炉容量 Q}{熔化炉容量 q}=0.5\sim1.5$
直接	用于保温	$\frac{保温炉容量 Q}{熔化炉容量 q}=1\sim3$	直接	用于精炼	$\frac{精炼炉容量 Q}{熔化炉容量 q}=0.5\sim1.0$

2.4.3　有芯感应电炉熔炼铸铁

1. 工频有芯感应电炉的分类、结构

有芯感应电炉通常采用工业频率电流。根据炉体形状分为两种：立式工频有芯感应电炉和卧式工频有芯感应电炉。有芯感应电炉由炉体、炉盖、炉架、倾炉机构、水冷系统、感应器以及电气设备等部分组成。炉体及感应器结构见图 2-11。

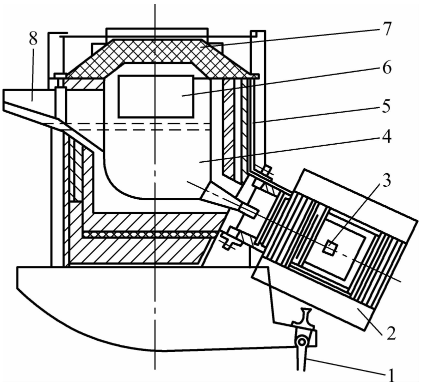


图 2-11　有芯感应电炉炉体及感应器结构

1—倾炉结构　2—感应器　3—熔沟槽　4—炉膛　5—炉壳　6—工作门　7—炉盖　8—出铁槽

2. 有芯感应电炉熔炼的操作要点（见表 2-126）

表 2-126　有芯感应电炉熔炼的操作要点（冷起熔）

序号	工　序	操 作 要 点
1	分批加装铁料、提高电压、升温熔化	当喷口温度到达 700 ~ 1000℃时，熔沟内会有局部熔化状态，此时应注意调整感应器，并加入第一批碎小铁料将喷口填满。当喷口温度到达 1300 ~ 1400℃时，可开始加入第二批碎小铁料 当第二批铁料熔化后，可逐次再装入适当块度的铁料，装入的铁料必须预热。装入的铁料约为熔池中铁液重量的 1/10，直至装满熔池为止

（续）

序号	工　序	操 作 要 点
2	加熔剂、除渣	在每加一次铁料前，均应扒渣一次，在熔炼过程中，渣的厚度不宜超过 10 ~ 15mm。出铁前，可用硅石、氟石作稀释剂，加入量根据渣的情况而定
3	炉前质量控制	浇注前，应调整成分，进行炉前控制和检验。如加入合金元素，分析化学成分，观察三角试块断面，测定铁液温度，观察气体，以及炉渣情况等
4	出铁液	出铁液时，应留一部分铁液在炉内，其高度约为熔池高度，即 100 ~ 400mm 若熔炼结束，在采用停电不保温操作时，铁液表面应覆盖一层石墨粉，然后，将炉盖和炉嘴封严 若熔炼结束，采用供电保温操作，铁液保温温度为 1180 ~ 1250℃，保温电压应使熔池中没有激烈的搅拌作用，通常，渣的厚度可为 15mm 左右

2.5　非铁合金的坩埚炉熔炼

2.5.1　坩埚熔炼炉

非铁合金熔炼炉种类较多，分别用于各种非铁合金的熔炼。坩埚熔炼炉仅是其中之一。坩埚熔炼炉有两种：

1）电阻坩埚炉——适用于熔炼铝合金、镁合金、低熔点轴承合金。

2）火焰坩埚炉（固定式、可倾式）——主要用于多品种、小批量的铜、铝、镁及其合金的熔炼。

2.5.2　铸造铝合金的熔炼

1. 熔炼前的准备工作

（1）金属炉料的准备　配制合金用的各种金属炉料的化学成分、表面状态和其他质量指标必须符合牌号及技术标准的要求；块度应符合“小块”的工艺要求；应清洁；装炉前需按要求预热。

（2）熔炼用工艺材料准备　工艺材料包括：熔剂（精炼剂、变质剂、覆盖剂等）、涂料。

1）熔炼用精炼剂和变质剂的准备见表 2-127。

表 2-127　熔炼用精炼剂和变质剂的准备

名　称		准 备 要 求
精炼剂	六氯乙烷	1）按规定用量称重，与处理后的添加剂混合均匀 2）置于压模内压制成 ϕ50mm ×（20 ~ 30）mm 的圆饼，密度为 1.8g/cm^3，或用铝箔分包 3）保存于密封的干燥器中，使用前置于熔炉旁预热

（续）

名　称		准备要求
精炼剂	氯化锰	1）铺于不锈钢盘内，厚度约 10mm 2）120～140℃ 烘烤 6～8h 呈粉红色 3）压成团块
	氯化锌	1）铺于不锈钢盘或陶瓷容器内 2）在 370～400℃的炉中熔化，熔化开始氯化锌熔液剧烈沸腾和冒烟，冒白烟转变成冒黄烟，直到溶液表面不再冒泡 3）将熔好的氯化锌在干净的容器内浇成薄片 4）保存在 150～200℃的恒温箱内待用
	氯气 氮气 氩气	1）使用前应经过浓硫酸干燥器和氯化钙干燥器进行脱水处理 2）干燥箱内应清洁无锈迹，氯化钙装入前应在 300～400℃烘烤 1h 3）浓硫酸、氯化钙应根据实际情况定期更换（一般 1～2 月）
	四氯化碳	1）将泡沫耐火砖或石棉绳烘烤脱水，以铝箔包好，上留一小孔 2）将称量好后的四氯化碳自小孔缓慢注入，然后封闭小孔
添加剂	氟硅酸钠	1）平铺于不锈钢盘内，厚度约 10mm 2）在烘箱内于 350～400℃烘烤 2～4h 3）冷却后按规定用量与六氯乙烷混合后压成块，或用铝箔分包，保持干燥，待用
	二氧化钛	1）平铺于不锈钢盘内厚度约 10mm 2）在烘箱内于 400～500℃烘烤 3～4h 3）冷却后按规定用量与六氯乙烷混合后压成块，或用铝箔分包，保持干燥，待用
变质剂	钠盐变质剂	烘烤法： 1）在不锈钢盘内铺平 2）在 300～400℃烘烤 3～4h 3）将结成的硬块粉碎并用 40 号筛过筛 4）置于炉边预热待用（此时用量必须过秤） 熔融法： 1）将混合后的盐在坩埚中熔化 2）升温使其沸腾至无气泡及无烟时搅拌均匀，浇入预热的锭模内 3)凝固后粉碎，放在干燥器内备用

2）涂料的准备见表2-128。

表2-128　坩埚、工具和锭模涂料

代号	涂料配方（质量分数，%）										适用范围
	硅砂	滑石粉	石墨粉	白垩粉	耐火水泥	耐火粘土	氧化锌	苏打	水玻璃密度 1.45～1.55g/cm³	水 >40℃	
T-1	16.7	—	—	—	27.8	—	—	27.8	—	27.7	坩埚
T-2	—	—	—	22.2	—	—	—	—	2.8	75	浇注工具
T-3	—	20～30	—	—	—	—	—	—	6	余量	坩埚、锭模、浇注工具
T-4	—	—	—	—	—	—	10～20	—	3～5	余量	坩埚、锭模、浇注工具
T-5	—	5～10	—	—	—	5～10	—	—	3～6	余量	坩埚、浇注工具
T-6	30	—	50	—	—	20	—	—	适量	—	铸铁坩埚涂料

3）熔炼浇注设备及工具准备见表2-129。

表2-129　熔炼浇注设备及工具准备

序号	工作名称	操　　作
1	清理	1）用钢丝刷、铁铲、錾子等工具去除坩埚或其他熔炼工具表面的氧化物、渣等污物 2）喷砂处理 3）检查坩埚，不应有裂纹、穿孔和明显的变形等
2	预热	预热至200～300℃，坩埚或其他工具呈暗红色
3	涂料	1）在坩埚和工具表面均匀喷涂涂料，涂料厚度为0.5～1.5mm，坩埚底部稍厚 2）发现喷涂的涂料脱落，应清理干净后重新喷涂 3）喷涂料后坩埚和工具要继续加热至550℃以上使用，或氧化锌型涂料呈淡黄色后使用 4）连续熔炼同一牌号合金，允许每两炉次喷涂坩埚一次涂料
4	铸铁坩埚	建议：铸铁坩埚渗铝后使用，以提高使用寿命 方法：铸铁坩埚外表面喷砂，除去锈和油污，预热至150～250℃，平稳压入温度为840～860℃铁的质量分数为6%～8%的铝铁合金液中，保温45～60min，提出冷却，然后在渗铝层表面涂一层厚0.5～1mm的涂料，自然干燥24h，放在炉内加温至1000℃±20℃保温5h后，随炉冷却至600℃以下
5	石墨坩埚	采用石墨坩埚熔化中间合金和高纯度合金，新的石墨坩埚在使用前应焙烧，以去除坩埚的水分并防止炸裂。旧石墨坩埚使用前应预热至250～300℃

2. 精炼（净化）

铝合金常用的精炼工艺参数见表 2-130。

表 2-130　铝合金常用的精炼工艺参数

序号	精炼剂	适用合金	精炼剂用量（质量分数,%）	精炼温度/℃	精炼时间/min	静置时间/min	备注
1	六氯乙烷+二氧化钛	Al-Cu、Al-Si	0.5～0.7	700～730	10～12	10～15	
2	六氯乙烷+氟硅酸钠	ZL101、ZL104、ZL105	0.5～0.8	710～750	10～12	10～15	
3	氯化锌	ZL104、ZL101	0.25	710～720	5～8	8～10	
		一般合金	0.15～0.2	690～710	5～8	8～10	
4	氯化锰	ZL201	0.2～0.3	710～730	5～8	5～10	
5	氯气	ZL105	15～20Pa	680～700	10～15	5～10	
6	氯气+氮气（或氩气）	通用	15～20Pa	710～740	10～15	5～10	
7	氮气（或氩气）	通用	15～20Pa	700～730	15～20	5～10	
8	光卤石（或氟化钙）	Al-Mg 合金	2～4	660～680	搅拌至合金液面呈镜面,熔渣与合金液分离	—	含 Be、Ti 合金
9	光卤石（或钡熔剂）	Al-Mg 合金	1～2	680～700		—	不含 Be,Ti 合金
10	四氯化碳	Al-Si 合金 Al-Cu 合金	0.2～0.3	690～710	7～10	10～15	—
11	真空精炼	Al-Si 合金 Al-Cu 合金	真空度:剩余压力小于 1330Pa	750～800	10～15	—	为了增加精炼效果,可以在合金液表面撒二元或三元熔剂

3. 变质处理工艺（见表 2-131）

表 2-131　变质处理工艺

<table>
<tr><th>序号</th><th>方法</th><th>工 艺 操 作</th></tr>
<tr><td>1</td><td>钠变质</td><td>先将配制好的钠盐变质剂在 300～400℃下预热，然后，将预热后的变质剂撒在合金液面上，保持 10～12min，此时应不断地打碎硬壳使气体排出，然后，用压勺将碎壳压入合金液内 3～5min，深度为 100～150mm。取出压勺撇渣，如渣过稀，可用适量的（100～200g）经充分预热至 300～400℃的氟化钠造渣。钠盐变质处理的有效时间为 30min
变质剂的用量和处理温度，如下表：
常用钠盐变质处理参数
<table>
<tr><th>变质剂名称</th><th>变质剂用量（占金属液的质量分数，%）</th><th>变质处理温度/℃</th><th>二次变质的变质剂用量（占剩余金属液的质量分数，%）</th></tr>
<tr><td>二元</td><td>1～2</td><td>800～810</td><td>0.5～1.0</td></tr>
<tr><td>三元</td><td>2～3</td><td>725～740</td><td>0.5～1.0</td></tr>
<tr><td>通用 1 号</td><td>1～2</td><td>800～810</td><td>0.5～1.0</td></tr>
<tr><td>通用 2 号</td><td>2～3</td><td>750～780</td><td>0.5～1.0</td></tr>
<tr><td>通用 3 号</td><td>2～3</td><td>710～750</td><td>0.5～1.0</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>2</td><td>锑变质</td><td>在合金中加入质量分数为 0.2%～0.3% 的 Sb 可以得到长效变质的效果，合金重熔时仍有变质效果。用 Sb 的质量分数为 5%～8% 的铝锑中间合金将 Sb 加到合金中。加 Sb 变质的合金对铸造凝固速度敏感，如凝固冷却速度低（或铸件壁厚较大）时会降低变质效果。Sb 会与合金中的 Mg 形成 Mg_3Sb_2 化合物降低了 Mg 的强化作用。经钠变质的合金再加 Sb 会形成 Na_3Sb 使晶粒变粗，性能变坏</td></tr>
<tr><td>3</td><td>锶变质</td><td>合金中加入质量分数为 0.02%～0.10% 的 Sr 可以获得与钠变质同样的效果，且具有长效变质作用，变质作用有效时间可达 6～7h，但 Sr 变质合金液有 30～45min 的孕育期。可以采用铝锶、中间合金（或锶盐）对合金进行变质处理，Sr 变质合金重熔仍有变质效果，应适当减少变质剂加入量。Sr 变质合金的吸气倾向高，应配合惰性气体精炼工艺对合金进行精炼，以保证合金质量</td></tr>
<tr><td>4</td><td>稀土变质</td><td>稀土对铸造 Al-Si 合金有变质作用，合金中加入质量分数为 0.1%～1.5% 的 RE 即可以达到变质效果，RE 变质具有长效性质，RE 对合金还有细化晶粒和精炼作用</td></tr>
<tr><td>5</td><td>其他方法</td><td>其处理工艺，参照产品说明书</td></tr>
</table>

4. 熔炼工艺

（1）铝硅合金的熔炼工艺（见表 2-132）

表 2-132　铝硅合金的熔炼工艺

序号	工序	ZL101	ZL104
1	加料熔化	1）未重熔的回炉料和重熔的回炉料 2）纯铝 3）铝硅中间合金 4）熔化后搅拌均匀 5）680～700℃时加 Mg	1）未重熔的回炉料和重熔的回炉料 2）纯铝、铝硅和铝锰中间合金 3）熔化后搅拌均匀 4）680～700℃时加 Mg
2	精炼	1）按表 2-130 工艺精炼 2）静置 15～20min 3）撇渣	1）按表 2-130 工艺精炼 2）静置 15～20min 3）撇渣
3	变质	根据需要进行变质处理	根据需要进行变质处理
4	浇注	按铸件工艺要求进行浇注	按铸件工艺要求进行浇注

（2）铝铜合金的熔炼工艺（见表 2-133）

表 2-133　铝铜合金的熔炼工艺

序号	工序	ZL201	ZL205A
1	加料熔化	1）加入回炉料、合金锭、纯铝、铝锰和铝钛中间合金 2）熔化后加入铝铜中间合金并轻微搅拌 3）升温至 740～750℃ 4）搅拌 3～5min	1）加入回炉料、合金锭、纯铝、铝锰、铝钒和铝锆中间合金 2）熔化后加入铝铜中间合金和金属镉 3）熔化后在 740～750℃加入 Al-Ti-B 中间合金 4）搅拌 10～15min
2	精炼	1）710～720℃用六氯乙烷二氧化钛精炼剂精炼 2）静置 10～15min 3）按工艺要求调整温度	1）710～730℃用六氯乙烷二氧化钛精炼剂精炼 2）静置 10～15min 3）按工艺要求调整温度
3	浇注	1）浇注前轻微搅拌 2）按铸件工艺要求浇注	1）浇注前轻微搅拌 2）按铸件工艺要求浇注

（3）铝镁合金的熔炼工艺（见表 2-134）

表 2-134　铝镁合金的熔炼工艺

序号	工序	含铍、钛的铝镁合金	不含铍、钛的铝镁合金
1	加料熔化	1）加入铝锭、铝铍、铝钛及其他中间合金 2）第一批炉料熔化后撒入质量分数为2%～4%的覆盖剂 3）装入大块的回炉料和合金锭 4）炉料全部熔化后于690～700℃将熔剂壳打破加Mg	1）加入铝锭 2）熔化后加入质量分数为5%～6%的光卤石熔剂覆盖于液面 3）装入回炉料和合金锭 4）熔化后于690～700℃时加Mg
2	精炼	于660～680℃加入精炼剂，并将熔剂压入合金液面之下，并加以搅拌至熔剂与金属分离，金属液表面呈镜面	于660～680℃将质量分数为1%～2%的光卤石（或钡熔剂）撒入，并搅拌至熔剂与金属分离，液面呈镜面
3	浇注	调整温度按铸件工艺要求浇注	调整温度按铸件工艺要求浇注

2.5.3　铸造镁合金的熔炼

1. 熔炼前的准备

（1）炉料和工艺材料的准备（见表2-135）

表 2-135　炉料和工艺材料的准备

<table>
<tr><th colspan="2">名　称</th><th>准 备 要 求</th></tr>
<tr><td rowspan="2">炉料</td><td>纯镁</td><td>镁锭启封、除去污垢；对于锈蚀严重的镁锭应喷砂处理；预热至150℃以上</td></tr>
<tr><td>回炉料</td><td>喷砂处理，注意清理废铸件中空部分的积砂；表面有严重锈蚀、熔剂夹杂和残留燃烧痕迹的回炉料须经重熔；预热至150℃以上</td></tr>
<tr><td rowspan="3">工艺材料</td><td>熔剂</td><td>1）各种覆盖熔剂和精炼熔剂在使用前应在120～150℃干燥1h以上
2）洗涤熔剂（光卤石或RJ-1熔剂）需升温至780～800℃，熔剂量不应少于坩埚体积容量的80%
3）洗涤熔剂应经常清理其积沉的熔渣，根据熔剂的消耗和洗涤能力添加新熔剂
4）洗涤熔剂一般在连续熔炼20炉合金后，坩埚中的熔剂要全部更新。洗涤能力尚可时，最多不超过30炉
熔剂牌号及用途
<table>
<tr><th>牌号</th><th>用　　途</th><th>牌号</th><th>用　　途</th></tr>
<tr><td>光卤石</td><td>洗涤熔炼及浇注工具，配制其他熔剂</td><td>RJ-4</td><td>ZM1合金精炼和覆盖</td></tr>
<tr><td>RJ-1</td><td>洗涤熔炼及浇注工具，配制其他熔剂，镁屑重熔用熔剂</td><td>RJ-5</td><td>ZM1、ZM2、ZM3、ZM4、ZM6合金覆盖和精炼</td></tr>
<tr><td>RJ-2</td><td>熔炼ZM5、ZM10合金用作覆盖和精炼</td><td rowspan="2">RJ-6</td><td rowspan="2">ZM3、ZM4、ZM6合金精炼</td></tr>
<tr><td>RJ-3</td><td>有挡板坩埚熔炼ZM5、ZM10合金时用作覆盖</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>变质剂</td><td>1）菱镁矿在使用前，应破碎至10mm左右的小块，并在120～150℃温度下烘烤1h以上
2）六氯乙烷需压实成圆柱状团块（压实后的假密度为$1.8mg/m^3$）</td></tr>
<tr><td>防燃剂</td><td>1）硫磺粉和硼酸在使用前，应将结块打碎
2）按1∶1比例混合均匀，用40号筛过筛后，保存于密闭容器内备用</td></tr>
</table>

（2）熔炼炉、工具、坩埚的准备

1）熔炼炉。每班开始工作前，必须检查熔炼炉和仪表的电气部分是否正常，仪表是否处在有效使用期内。

2）金属熔炼工具。用钢丝刷、铁铲或錾子等，清理工具表面上的渣、氧化物等污物；钟形罩、搅拌勺、浇包等在使用之前，必须在熔剂坩埚内洗涤干净，并预热至亮红色；光谱试样模、断口试样模、锭模在使用之前应预热，并喷涂涂料。涂料的配比及混制工艺见表 2-136。

3）坩埚。熔炼镁合金用坩埚为焊接钢坩埚（分带挡板、不带挡板两种），使用前要检验。新坩埚要用射线检测坩埚焊缝，观察是否有裂纹、未焊透等缺陷；在坩埚内盛煤油作渗透检验，检验是否渗漏；坩埚需用熔剂洗涤、清理后使用；建议新坩埚进行渗铝处理，以延长使用寿命。旧坩埚应认真清理检查，如坩埚严重变形、法兰边翘曲应报废；检查焊缝，如有渗漏现象，则报废；用专用的量具测量坩埚体壁厚。旧坩埚可继续使用的最小壁厚。150kg 小坩埚为 5mm，350kg 大坩埚为 8mm。

表 2-136　涂料的配比及混制工艺

<table>
<tr><th rowspan="2">涂料牌号</th><th colspan="5">配比（质量分数，%）</th><th rowspan="2">配制工艺</th><th rowspan="2">备注</th></tr>
<tr><th>白垩粉</th><th>石墨粉</th><th>硼酸</th><th>水玻璃</th><th>水</th></tr>
<tr><td>TL-4</td><td>33</td><td>11</td><td>11</td><td>—</td><td>100</td><td>称料后，先将硼酸倒入热水（60℃左右）槽内，搅拌至全部溶解；将白垩粉和石墨粉干混均匀；将上述混合料加入硼酸水溶液中，搅拌均匀；配制好的涂料应置于有盖容器中备用</td><td rowspan="2">涂料的存放期一般不超过 24h；使用前搅拌均匀；如有结块或沉淀，应将其过滤</td></tr>
<tr><td>TL-8</td><td>12</td><td>—</td><td>1.5</td><td>2</td><td>100</td><td>称料后，先将水玻璃和硼酸倒入热水（60℃左右）槽内，搅拌至全部溶解；将白垩粉加入水玻璃 + 硼酸溶液中，搅拌均匀；配制好的涂料应置于有盖容器中备用</td></tr>
</table>

2. 镁合金的变质处理和精炼处理

1）镁-铝系合金的变质剂见表 2-137，镁-铝系合金的变质处理工艺见表 2-138。

2）镁合金的精炼工艺见表 2-139。

表 2-137　镁-铝系合金的变质剂

序号	变质剂名称	用量（占炉料的质量分数，%）	处理温度/℃
1	碳酸镁或菱镁矿	0.25～0.5	710～740
2	碳酸钙	0.5～0.6	760～780
3	六氯乙烷	0.5～0.8	740～760

注：1. 菱镁矿在使用前，应破碎成约 10mm 的小块。
2. 碳酸镁（或菱镁矿）的最小用量为 0.5kg。
3. 碳酸钙在使用前，应磨碎，过 20 号筛。

表 2-138　镁-铝系合金的变质处理工艺

序号	工　序	工艺操作要点
1	变质剂的准备	1）将变质剂按规定比例称重 2）将变质剂用铝箔包好后，置于预热的钟形罩中
2	合金液的准备	根据所采用的变质剂，将合金液升温至表 2-137 所示的温度
3	变质处理	1）用钟形罩将变质剂缓慢地压入合金液中 1/2 ~ 2/3 深处；平稳地作水平移动，直至变质剂分解完毕。变质处理的持续时间不应少于 5min 2）合金液表面燃烧处，可以用熔剂覆盖熄灭 3）清除合金液表面上的熔渣 4）变质后准备精炼

注：ZM1、ZM2、ZM3、ZM4 和 ZM6 合金，采用锆对合金进行细化晶粒（变质）处理。因此，无需进行上述变质处理。

表 2-139　镁合金的精炼工艺

序号	工　序	工艺操作要点
1	合金液的准备	将合金液温度调整至：ZM5 和 ZM10 为 710 ~ 740℃ ZM1、ZM2、ZM3、ZM4 和 ZM6 为 750 ~ 760℃
2	精炼处理	1）将搅拌勺（或搅拌器）沉入金属液中 2/3 深处 2）激烈地由上至下垂直搅拌合金液 4 ~ 8min，直至合金液呈现镜面光泽为止 3）在搅拌过程中，应往金属液面均匀而不断地撒上精炼熔剂。熔剂的消耗量为炉料质量分数的 1.5% ~ 2.5% 4）停止搅拌，清除浇嘴、挡板（指有挡板坩埚）、坩埚壁和合金液表面上的熔剂，再撒一层覆盖熔剂

3. 镁合金的熔炼工艺

镁合金的熔炼一般采用熔剂覆盖工艺，并严格遵守操作规程。

（1）“镁-锌-锆系”和“镁-稀土金属-锆系”合金的熔炼工艺（见表 2-140）

（2）“镁-铝系”合金的熔炼工艺（见表 2-141）

表 2-140　“镁-锌-锆系”和“镁-稀土金属-锆系”合金的熔炼工艺

序号	工序	操 作 要 点	说　明
1	装料、熔化	1）将坩埚预热至暗红色，在坩埚壁和底部撒上适量的熔剂 2）加入预热的镁锭、回炉料，升温熔化 3）在炉料上撒上适量的熔剂	
2	合金化	1）升温至 720 ~ 740℃后，加入锌 2）继续升温至 780 ~ 810℃，分批而缓慢地加入镁-锆中间合金和稀土金属（指含稀土的镁合金） 3）全部熔化后，捞底搅拌 2 ~ 5min，使合金均匀化	镁-锆中间合金应预热至 300 ~ 400℃ 搅拌时尽量不要破坏金属液表面，以减少氧化

（续）

序号	工序	操 作 要 点	说　　明
3	断口检查	1）浇注断口试样 2）检查断口晶粒度	如断口的晶粒度不合格，可酌情补加质量分数为 1% ～3% 的镁-锆中间合金，再自工序 2 重复
4	精炼	1）将合金液温度调整至 750～760℃ 2）精炼 4～8min	按表 2-139 要求进行
5	浇注	1）将合金液升温至 780～810℃ 2）静置 10～20min，必要时再一次检查断口 3）降至浇注温度进行浇注	

表 2-141　镁-铝系合金的熔炼工艺

序号	工序	操 作 要 点	说　　明
1	装料、熔化	1）将坩埚预热至暗红色，在坩埚壁和底部撒上适量的覆盖熔剂 2）加入预热的回炉料、镁锭、铝锭，升温熔化	
2	合金化	1）升温至 700～720℃ 2）加入中间合金和锌，熔化后搅拌均匀	
3	炉前成分分析	1）浇注光谱分析试样 2）进行炉前光谱分析	成分不合格时，可以在调整成分后，重新取样分析
4	变质处理	1）将合金液升温至变质处理温度 2）变质处理	按表 2-139 要求进行
5	精炼处理	1）除渣后调整合金液温度至 710～740℃ 2）精炼 5～8min	按表 2-139 要求进行
6	断口检查	1）合金液升温至 760～780℃，静置 10～20min 2）浇注断口试样 3）检查断口	断口如不合格，允许重新进行变质和精炼处理
7	浇注	降至浇注温度进行浇注	应在 1h 内浇完，否则要重新检查断口，合格后方可继续浇注。如断口不合格，允许重新进行变质和精炼处理

2.5.4　铸造铜合金的熔炼

1. 铸造铜合金的熔炼工艺

（1）纯铜（包括高铜合金）的熔炼工艺（见表 2-142）

表 2-142　纯铜的熔炼工艺

合金	炉型	熔炼工艺要点	备　　注
纯铜	坩埚炉 感应炉 真空感应炉 电弧炉	1）坩埚预热 2）加木炭和阴极铜 3）升温熔化，并过热至 1180～1220 ℃，用 Cu-P（磷脱氧铜）预脱氧 4）出炉前用 Cu-Li 合金二次脱氧 5）炉前检验，出炉浇注	木炭须经 800～850℃，2～4h 的干馏，覆盖厚度 50～100mm 真空炉不用木炭覆盖 可以用 Cu-B 合金和 Mg 丝代替 Cu-Li 合金

（续）

合金	炉型	熔炼工艺要点	备　注
高铜合金	坩埚炉 感应炉	1）坩埚预热 2）加木炭、阴极铜、高熔点合金元素（Fe）和回炉料 3）升温熔化，并过热至 1180 ~ 1220℃，用 Cu-P 合金预脱氧后加入 Sn、Zn、Mg 等元素 4）出炉前 Cu-P（磷脱氧铜）或 Cu-Mn（锰脱氧铜）或 B（硼脱氧铜）脱氧 5）炉前检验，出炉浇注	磷脱氧铜 P 的加入量（质量分数）：新料 0.06% ~0.07%，回炉料 0.03% 锰脱氧铜 Mn 的加入量（质量分数）：新料 0.30% ~0.35%，回炉料 0.20%
纯铜 高铜合金	反射炉	氧化还原法 1）炉子预热 2）加木炭、阴极铜和回炉料（或高熔点合金元素 Fe） 3）在弱氧化性气氛下快速熔化 4）铜液沸腾（1200 ~1220 ℃） 5）在氧化性气氛条件下用压缩空气进行氧化处理（风压不低于 80kPa），氧化开始温度 1200 ~1220℃，氧化终止温度为 1150 ~1170 ℃ 6）检验断口，确定氧化终止期 7）扒渣，加木炭 8）在强还原气氛下用青木还原，再加低熔点金属 9）检验断口，断定还原终止期 10）出炉浇注（1180 ~1200 ℃）	氧化终点期的确定：断口结晶为较粗的柱状，呈砖红色，占试样断面积的 30% ~50% 还原终点的确定：断口表面平整，有细皱纹，呈玫瑰红色，带有丝绢光泽，青木可用新鲜的榆木、白杨或红松

注：1. 纯铜（包括高铜合金）的熔炼，不能使用铁质工具，不能用熔化过其他铜合金的坩埚，不能使用已污染的回炉料等。
对纯铜的要求则更高，要求选用 w（Cu）≥99.97%，w（Zn）≤0.003%、表面致密、含铜豆少的阴极铜。
2. 纯铜的熔炼普遍采用木炭覆盖法。木炭的作用是防止氧化、保温和扩散脱氧。木炭常随纯铜一起加在坩埚底部，使纯铜一旦熔化就被严密覆盖着，在整个熔炼过程中保持木炭一定的厚度（50 ~80mm）。木炭使用前，需经高温干馏（800℃ 以上，2 ~4h），以除去水分和有机物。
3. 坩埚炉熔炼纯铜时，应采用微氧化性气氛和快速熔化，以防铜液吸氢。当铜液含氢量较高时，可添加少量氧化性熔剂，或通压缩空气，除去氢气。
4. 铸造纯铜一般不宜用 Cu-P 合金进行最终脱氧，宜采用二次脱氧法，即先用 Cu-P 合金预脱氧，然后用 Cu-Li、Cu-B 或 Mg 进行二次脱氧。

（2）锡青铜熔炼工艺（见表 2-143）

表 2-143　锡青铜的熔炼工艺

合金牌号	炉型	熔炼工艺要点	备　　注
ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 ZCuSn5Pb5Zn5 ZCuSn10Zn2 ZCuSn10Pb5 等	坩埚炉 感应炉	先熔化铜,后加回炉料 1）坩埚预热 2）加覆盖剂、铜屑、阴极铜、电解镍(或 Cu-Ni) 3）升温熔化(弱氧化气氛),并过热至 1200 ~1250 ℃ 4）Cu-P 预脱氧 5）加回炉料 6）加锌、铅和锡,搅拌 7）调整温度,加剩余的 Cu-P 8）除气 9）炉前检验 10）出炉浇注	预脱氧用总加入量的 2/3Cu-P,除气可用六氯乙烷(质量分数为炉料总量的 0.2% ~0.4%)或吹入干燥氮气
	坩埚炉 感应炉	先熔化回炉料 1）坩埚预热 2）加覆盖剂、回炉料、铜屑、阴极铜、电解镍(或 Cu-Ni) 3）升温熔化(弱氧化气氛)并过热至 1120 ~1160 ℃ 4）Cu-P 脱氧 5）加锌、铅、锡,搅拌 6）调整温度,加剩余的 Cu-P 7）除气 8）炉前检验 9）出炉浇注	若回炉料中含 P 较高,不需进行脱氧
	坩埚炉	先熔化锌 1）坩埚预热 2）加覆盖剂、锌、阴极铜、电解镍(或 Cu-Ni) 3）升温熔化(弱氧化性气氛),并过热至 1100 ~1150 ℃ 4）加回炉料、铅、锡,搅拌 5）升温至 1180 ~1200 ℃,加 Cu-P 6）扒渣、除气 7）炉前检验 8）出炉浇注	

（续）

合金牌号	炉型	熔炼工艺要点	备　注
ZCuSn10P	坩埚炉	1）坩埚预热 2）加覆盖剂，阴极铜 3）升温熔化，过热至 1150 ℃，加合金所需量 1/5 的 Cu-P 脱氧 4）加回炉料，搅拌 5）加剩余的 Cu-P，加锡 6）炉前检验 7）出炉浇注	锡磷青铜吸气性很强，宜用氧化性熔剂
ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 ZCuSn10Zn2 ZCuSn5Pb5Zn5 ZCuSn6Zn6Pb3	电弧炉	1）加木炭，送电预热炉膛 2）分批加阴极铜熔化 3）温度至 1150 ℃，加 Cu-P 脱氧 4）加锌、铅和锡，搅拌 5）除气 6）炉前检验 7）出炉浇注	
含油污和气体较多的炉料	坩埚炉	1）坩埚预热 2）加氧化性熔剂（放在地塌底部） 3）加铜屑、阴极铜、回炉料 4）升温熔化（弱或较强氧化性气氛），过热至 1120 ~ 1160℃ 5）加精炼剂、搅拌、扒渣 6）Cu-P 脱氧 7）加锌、铅、锡，并搅拌 8）升温至 1200℃左右 9）出炉、扒渣、加剩余 Cu-P 10）浇注	用石墨坩埚，精炼熔剂成分根据杂质种类和数量多少选定

（3）铝青铜的熔炼工艺（见表 2-144）

表 2-144　铝青铜的熔炼工艺

合金牌号	熔炼方法及特点	炉型	熔炼工艺要点	备　注
ZCuAl7Mn13Zn4Fe3Sn1 ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 ZCuAl9Fe4Mn2 等	一次熔炼全部使用纯金属，熔化温度高，时间长，金属损耗大，不需熔制中间合金，节省能耗和工时	反射炉	1）加锌锭、阴极铜、电解镍、铁片或铁丝、金属锰 2）预热至约 800℃，加熔剂保护 3）升温快速熔化（弱氧化气氛）并过热至 1250 ~ 1300 ℃ 4）分批加铝锭和阴极铜 5）加 Sn 6）搅拌，静置 20 ~ 30min 7）炉前检验 8）测温出炉 9）包内吹氮除气，检验含气量 10）测温、浇注	ZCuAl7Mn13Zn4Fe3Sn1 熔炼时用锌铺底，预留总加入量（质量分数）10%的阴极铜作降温用

（续）

合金牌号	熔炼方法及特点	炉型	熔炼工艺要点	备　注
ZCuAl10Fe3 等	一次熔炼全部使用纯金属，但在加料顺序上是先熔制 Al ~ Fe，再熔制成合金	坩埚炉	1）坩埚预热 2）加总质量分数为 85% 的铝锭，覆盖剂 3）升温预熔化，并过热至 850 ~ 900℃，加铁片或铁丝，搅拌 4）铁片或铁丝全部熔化后，升温至 1180 ~ 1200℃，加剩余的铝锭、阴极铜，搅拌 5）炉前检验，除气，检验含气量 6）出炉、浇注	
ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 ZCuAl10Fe3Mn2 等	一次熔炼，但使用 Al-Fe 中间合金，降低了熔化温度，提高熔化速度	小型反射炉坩埚炉感应炉	1）坩埚预热 2）阴极铜、金属锰、电解镍、阴极铜、回炉料 3）升温熔化，并过热至 1200℃ 4）加 Al-Fe，搅拌 5）静置 5 ~ 10min，炉前检验 6）升温 5 ~ 10min，加精炼剂 7）测温，出炉浇注	
ZCuAl8Mn13Fe3Ni3 ZCuAl10Fe3Mn2 ZCuAl9Mn2 等	二次熔炼全部或大部分使用中间合金，熔炼温度低，熔化速度快	坩埚炉感应炉	1）坩埚预热 2）加阴极铜、Cu-Ni、Cu-Mn 回炉料，覆盖剂 3）升温熔化，并过热至 1200 ~ 1250℃ 4）加 Al-Fe，加降温铜 5）搅拌，静置 20 ~ 30min 6）炉前检验 7）除气，检验含气量 8）测温度，出炉浇注	

（4）铍青铜、铬青铜的熔炼工艺（见表 2-145）

表 2-145　铍青铜、铬青铜的熔炼工艺

合金	炉型	熔炼工艺要点	备　注
铍青铜	真空感应炉	1）加阴极铜、电解镍、（钴）、铁片或铁丝 2）抽真空熔化，并过热至 1250～1300℃ 3）精炼 20～30min 4）加 Cu-Be、Al 等，搅拌 5）调整温度、浇注	真空度为 1～10Pa
	坩埚炉 感应炉	1）坩埚预热 2）加阴极铜、电解镍（钴）、铁片或铁丝和覆盖剂 3）升温熔化（中性或弱氧化性气氛，过热至 1200～1250℃） 4）加回炉料、Cu-Be、Al 等，搅拌 5）调整温度，浇注	
铬青铜	感应炉	1）预热、加阴极铜和覆盖剂 2）升温熔化（中性或还原性气氛，过热至 1300～1350℃） 3）加 Cr 或 Cu-Cr 中间合金（若相对电导率要求低于 80% 时，可用 Cu-P 预脱氧） 4）调整温度，浇注	P 加入量（以 Cu-P 中间合金折算）为新料质量的 0.005%

（5）黄铜的熔炼工艺（见表 2-146）

表 2-146　黄铜的熔炼工艺

合金牌号	熔炼方法	炉型	熔炼工艺要点	备　注
ZCuZn33Pb2 ZCuZn38 ZCuZn40Pb2	一次熔炼	坩埚炉	1）坩埚预热 2）加阴极铜、覆盖剂 3）升温熔化，并过热至 1150～1180℃ 4）Cu-P 脱氧 5）加锌、铅、搅拌 6）升温沸腾 2min 7）炉前检验 8）调整温度，出炉浇注	覆盖剂在铜熔化之前加入，P 加入量的质量分数为 0.06%
ZCuZn24Al5Fe2Mn2 ZCuZn25Al6Fe3Mn3 ZCuZn26Al4Fe3Mn3 ZCuZn31Al2 ZCuZn38Mn2Pb2 ZCuZn40Mn2 ZCuZn40Mn3Fe1 等	一次熔炼	反射炉 坩埚炉 感应炉	1）预热 2）加阴极铜（铺底）、铁片、金属锰、阴极铜 3）升温熔化，并过热至 1120～1150℃ 4）加铝和降温铜、搅拌 5）分批加预热的锌锭和铅块 6）升温沸腾 2min 7）炉前检验 8）调整温度	

（续）

合 金 牌 号	熔炼方法	炉型	熔炼工艺要点	备　注
ZCuZn24Al5FeMn2 等	二次熔炼用 Cu-Mn、Al-Fe 中间合金	反射炉	1）加阴极铜、Cu-Mn 2）升温熔化，并过热至 1180℃ 3）分批加预热的锌，搅拌 4）升温沸腾 2min 5）加入 Al-Fe，过热 5～7min 6）搅拌，炉前检验 7）压入 NaF 精炼 8）扒渣、静置 10min 9）调整温度，出炉浇注	w（NaF）用量为 0.5%，出铜液一半后，另加质量分数为 0.5% 的 Na_2CO_3 + $Na_2Ba_4O_7$ 再次造渣
ZCuZn26Al4Fe3Mn3 等	二次熔炼用 Cu-Mn、Cu-Fe、Cu-Al 中间合金	坩埚炉	1）坩埚预热 2）加阴极铜、Cu-Fe 3）升温熔化，并过热至 1200℃ 4）加回炉料、Cu-Mn、锌 5）升温沸腾 2min 6）加 Cu-Al，搅拌 7）炉前检验 8）出炉，静置 10min 9）调整温度，浇注	

（6）白铜、铜-锰合金的熔炼工艺（见表 2-147）

表 2-147　白铜、铜-锰合金的熔炼工艺

合 金 牌 号	炉型	熔炼工艺要点
铜-锰合金 ZCuMn51A14Fe3Ni2Zn2Cr1 ZCuMn53A14.5Fe4Ni2	感应炉	铜、锰共熔法 1）加覆盖剂、阴极铜（铺底）、金属锰、电解镍、阴极铜 2）升温熔化（弱氧化性气氛），并过热至 1200～1250℃ 3）加 Cu-Cr、铝、铁片，搅拌 4）炉前检验 5）必要时进行除气处理 6）扒渣、调整温度、出炉浇注 先熔化铜，后加锰 1）加覆盖剂、阴极铜、电解镍 2）升温熔化（弱氧化性气氛），并过热至 1200～1300℃ 3）分批加预热的金属锰，直至加完，并完全熔化 4）加 Cu-Cr、铝、铁片，搅拌 5）加锌、搅拌、扒渣、炉前检验 6）必要时，进行除气处理（吹氮，或压入精炼剂） 7）调整温度，出炉浇注

（续）

合 金 牌 号	炉型	熔炼工艺要点
ZCuNi10Fe1 ZCuNi30Cr2Fe1Mn1 ZCuNi30Nb1Fe1 ZCuNi30Be1.2	感应炉	1）加覆盖剂、阴极铜（铺底）、电解镍、铁片、阴极铜 2）升温熔化（弱氧化性气氛），并过热至1350～1450℃ 3）加Cu-P脱氧 4）加Nb、Cr、Be，搅拌、炉前检验 5）必要时，进行除气处理 6）加Cu-Mg（或Mg）脱氧 7）调整温度，出炉浇注
ZCuNi15Al11Fe1	感应炉	1）加覆盖剂、阴极铜（铺底）、电解镍、铁片、阴极铜 2）升温熔化（弱氧化性气氛）并过热至1250～1300℃ 3）加Cu-P脱氧 4）加铝、铁片，搅拌 5）除气，炉前检验 6）加Cu-Mn、Cu-Mg（或Mg）合金脱氧 7）调整温度，出炉浇注
ZCuNi20Sn4Zn5Pb5 ZCuNi25Sn5Zn2Pb2 ZCuNi22Zn13Pb6Sn4Fe1	感应炉	1）加覆盖剂、阴极铜（铺底）、电解镍、铁片、阴极铜 2）升温熔化（弱氧化性气氛），并过热至1300～1350℃ 3）加Cu-P脱氧 4）加锌、铅、锡，搅拌 5）炉前检验 6）必要时，进行除气处理 7）加Cu-Mn、Cu-Mg（或Mg）、Cu-Si合金脱氧（浇注前3min内进行） 8）调整成分，出炉浇注

2. 炉前检验

出炉浇注前，应严格按照铸造铜合金熔炼工艺规程的要求，测定出炉温度、弯折角、断口、化学成分和气体含量等。符合有关工艺规程要求后，方可浇注。

2.5.5 铸造锌合金的熔炼

1. 熔炼前的准备

（1）炉料

1）工业纯金属：锌锭、铝锭、阴极铜、镁锭等。

2）中间合金：铝铜、铝镁、铝钛、铝硼、铝钛硼、铝铈、铝稀土等。

3）覆盖剂：木炭。

4）精炼剂：氯化铵、氯化锌、六氯乙烷。

5）变质剂：氟钛酸钾、氟硼酸钾等。

所有金属炉料化学成分必须符合要求，外观洁净，入炉前预热至 200～300℃。

（2）熔炼炉、工具 熔炼铝合金用的熔炉（焦炭炉、煤气炉、电阻炉、感应炉等）均可用于熔炼锌合金。但熔炼锌合金与熔炼铜合金的坩埚炉应严格分开。锌合金不宜采用铸铁坩埚。新石墨坩埚使用前应缓慢升温至 900℃进行焙烧。旧坩埚检查应无损坏、清理干净，装料前要预热至 500～600℃。

与锌合金液接触的工具必须清理干净，喷刷涂料，并充分干燥后方可使用。涂料配方（质量分数,%）有三种：①氧化锌 25～30，水玻璃 3～5，水余量；②滑石粉 20～30，水玻璃 6，水余量；③石墨粉 20～30，水玻璃 5，水余量。

2. 配料

锌合金可不进行精炼处理。配料计算所需的各元素烧损见表 2-148。

表 2-148 熔炼锌合金时各元素烧损

元 素	Zn	Al	Cu	Mg
烧损(质量分数,%)	1～3	1～1.5	0.5～1	10～30

3. 锌合金的熔炼操作

（1）锌合金的直接熔炼法（见表 2-149）

（2）锌合金的两步熔炼法（见表 2-150）

表 2-149 锌合金的直接熔炼法

序号	操 作 要 点
1	将石墨坩埚预热至暗红色(500～600℃)并加入一铲木炭作为覆盖剂(电炉熔化时可以不加)
2	加入电解铜(或铜锭)熔化后,用占 $w(\mathrm{Cu})=0.6\%\sim1.0\%$ 量的磷铜,脱氧
3	加入全部铝
4	铝熔清后,加入锌的质量分数为 90% 及回炉料
5	待金属液温度达到 650℃以上时,用钟罩压入所需的镁量
6	当回炉料用量较大时,可压入质量分数为 0.2%～0.3% 的 C_2Cl_6,或质量分数为 0.1%～0.15% 的 $ZnCl_2$ 进行精炼,待反应停止后,扒渣,并静置 5～10min
7	加入剩余的锌降温,搅拌、扒渣,并测温。当温度符合要求时,即可浇注

表 2-150 锌合金的两步熔炼法

方法	序号	操 作 要 点
第一步		熔炼 Al-Cu 中间合金(操作要点见前面介绍过的“铝铜合金”熔炼工艺)
第二步 熔炼锌合金	1	将坩埚预热至暗红色,加入质量分数为 90% 左右的锌和回炉料,再加入中间合金
	2	加热熔化。待金属液温度达到 650℃以上时,加入所需镁量
	3	必要时加入质量分数为 0.1%～0.15% 的 $ZnCl_2$ 或质量分数为 0.2%～0.3% 的 C_2Cl_6 进行精炼
	4	加入剩余的锌和回炉料,搅拌、扒渣
	5	取样检验、测温。合金成分合格、温度合适时即可出炉浇注

4. 净化与变质处理

（1）净化方法　在待合金熔化后，用钟罩压入质量分数为0.1% ~0.2%的氯化铵（或3% ~4%的六氯乙烷）。也可用细粒陶瓷过滤器过滤金属液，获得更好净化效果。

（2）变质处理　变质剂有B、Ti-B、Zr、La、Ce等。可细化晶粒，提高断后伸长率。

5. 炉前检验（见表2-151）

表2-151　锌合金熔炼的炉前检验

序号	炉前检验项目	操 作 要 点
1	温度测量	镍铬-镍铝热电偶,配以毫伏计、电位差计或智能式数字显示仪表等 热电偶用纯铁保护管保护,保护管喷刷涂料并充分干燥。需快速测温时可不用保护管
2	化学成分分析	出炉前取样分析,采用化学分析法和光谱分析法,以确定化学成分是否合格
3	炉前试验	用金属型浇注弯曲试样,浇注后2 ~3min将凝固的试样从铸型中取出水冷,然后,将试样一端夹持在台虎钳上,用锤击断。根据击断时用力大小和试样折断角判断其力学性能,并观察断口晶粒大小,有无偏析、氧化、夹渣等,判断合金质量

第 3 章　砂型铸造工艺基础

砂型铸造的生产率高、成本低、灵活性大、适应面广、技术相对较为成熟，因此，世界各国的砂型铸造应用最为广泛，砂型生产的铸件占铸件总产量的 80% 以上。砂型铸造成为铸造生产中的最基本工艺。

3.1　砂型铸造的技术解决方案及选择

供选择的砂型铸造技术解决方案很多，在生产中，应根据铸件的结构特点、数量、技术要求以及工厂技术水平等实际情况，选择符合工厂实际的、实用先进的、环保的、综合经济效益好的技术解决方案。

3.1.1　手工造型（芯）的解决方案

手工造型是砂型铸造的基本方法。由于它的工装简单、灵活多样、适应性强、成本低，所以广泛应用于单件、小批或成批生产，特别是在重型、大型铸件和复杂铸件的生产中，应用更为普遍。采用砂型铸造工艺方法能生产从几吨到上百吨的铸钢件、铸铁件和铸铝件。

1. 手工造型解决方案（见表 3-1）

表 3-1　手工造型解决方案及选择

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="4">造型方案种类</th><th>选用原则</th></tr>
<tr><td rowspan="7">1</td><td rowspan="7">砂箱造型</td><td rowspan="4">1）两箱造型</td><td rowspan="2">整体模造型</td><td>挖砂造型
假箱造型</td><td>适于单件、小批量生产</td></tr>
<tr><td>活砂造型</td><td>生产数量多时,活砂部分可用砂芯代替</td></tr>
<tr><td>可分开模样造型</td><td>对箱造型</td><td>适用于各种批量的铸件生产</td></tr>
<tr><td>刮板模样造型</td><td></td><td>适于单件生产</td></tr>
<tr><td colspan="3">2）三箱和多箱造型</td><td>适用于多分型面的铸件、高大而结构复杂的铸件</td></tr>
<tr><td colspan="3">3）劈箱造型</td><td>只适于批量大、要求高的大型和结构复杂的铸件,如机床床身、发动机缸体等</td></tr>
<tr><td colspan="3">4）叠箱造型</td><td>适于大批量、薄而小的铸件生产</td></tr>
<tr><td>2</td><td>脱箱造型</td><td colspan="3">造型时采用组合式砂箱,造好型将砂箱取走,形成一个无砂箱的砂型。浇注前加套箱</td><td>适用于各种批量的湿型铸造中小型铸件。既可用于手工造型,又可用于机器造型的流水线生产</td></tr>
<tr><td>3</td><td>刮板造型</td><td colspan="3">1）刮板可沿垂直轴旋转,或沿水平轴旋转,或沿骨架模样移动
2）可在砂箱内造型,或在地坑内造型;可刮湿型,又可刮干型</td><td>适用于单件、小批生产的中、大型旋转体铸件,或形状简单的铸件</td></tr>
</table>

（续）

序号	造型方案种类		选用原则
4	组芯造型	可在砂箱内组芯，或在地坑内组芯	在车间起重设备能力较小时，可用该法生产较大的铸件
5	泥芯块造型		可以避免分型面过多，简化造型操作
6	抽芯造型		适用于高度较高、起模困难的大、中型铸件生产
7	地坑造型	1）软砂床地坑造型	常用作生产高度低于1m的铸件
		2）硬砂床地坑造型	一般用于生产高于1m的铸件
		3）加固硬砂床地坑造型	用于制作特大铸件
		4）地坑实样造型	
		5）地坑刮板造型	常用于大型圆圈形铸件生产
		6）地坑组芯造型（CO_2 水玻璃砂芯组装型腔，铸型底面或一小段侧面用实样模撞制）	适用于大型、重型铸件生产

2. 手工制芯解决方案（见表3-2）

表3-2　手工制芯的解决方案及选择

序号	制芯工艺方案		选择原则
1	芯盒制芯	分整体式芯盒、对分式芯盒和脱落式芯盒。用芯盒内表面形成砂芯的形状，砂芯尺寸准确	各种批量、小而复杂的砂芯均可采用
2	刮板制芯	与刮板造型相似	用于单件小批生产，形状简单或回转体砂芯

3.1.2　湿型砂机器造型（芯）的解决方案

铸造生产采用机器造型和机器制芯，并提高机械化、自动化程度，能改善铸件质量、节约能源与原材料、减轻劳动强度、提高铸造生产能力、增加企业效益。

1. 湿型砂机器造型解决方案及选择（见表3-3、表3-4）

表3-3　湿型砂机器造型解决方案

序号	方案	基本概念	使用范围
1	高压造型	压实造型是型砂借助于压头或模样所传递的压力紧实成型，按比压大小分为低压（0.15～0.4MPa）、中压（0.4～0.7MPa）和高压（>0.7MPa）三种 高压造型具有生产率高，所得铸件尺寸精度高和表面质量较好的特点。同时，由于砂型紧实度高、强度大，砂型受振动或冲击而塌落的危险性小，因而可以降低铸造缺陷。对于较大的砂型，例如砂箱内框尺寸为800mm×600mm或更大时，可以应用无箱带的砂箱，造型和落砂都十分方便。所以，高压造型目前应用很普遍。特别是大批和大量生产的铸造车间，多采用高压造型。在工业发达国家，高压造型已基本取代了一般压实造型 高压造型通常采用多触头高压造型机，以使砂型紧实度均匀化。随着造型设备的不断发展，目前多触头的压力已可以根据不同铸件（或模样的不同部位）的要求，进行调整，可以在同一砂型中得到不同的砂型紧实度。因此，其适应范围广，可以用于精度要求较高的、较复杂铸件的生产	适于大批和大量生产

（续）

序号	方案	基 本 概 念	使用范围
2	射压造型	射压造型就是利用压缩空气将型砂以很高的速度射入砂箱而得到紧实。射压造型具有很多优点：紧实度分布均匀，工作无振动，无噪声，紧实速度快，机器结构比较简单等。其应用逐渐扩大，在中、大型砂箱造型方面，有箱射压造型机有取代原来微震压实造型机的趋势 射压造型也可以采用模板加压法或同时采用压板加压与模板加压（或称差动加压），以保证在模样复杂，具有很大砂胎的情况下，砂型也能获得均匀的紧实度。射压造型在精度要求不高、一般中小件的成批大量生产中获得了广泛的应用	适于精度要求不高、一般中小件的成批大量生产
3	气流紧实造型	气流紧实造型主要分为气流冲击造型和静压造型 气流冲击造型就是利用具有一定压力的气体瞬时膨胀释放出来的冲击波作用在型砂上使其紧实，且由于型砂受到急速的冲击产生触变（瞬时液化）克服了粘土膜引起的阻力，提高了型砂的流动性。在冲击力和触变作用下迅速成型。其砂型特点是紧实度均匀且分布合理，靠模样处的紧实度高于铸型背面。其冲击气流可分空气冲击和燃气冲击。空气冲击是采用普通压缩空气作为动力，通过调节压缩空气压力来调节砂型紧实度；燃气冲击是用天然气、丙烷气、甲烷和乙烷按一定比例和空气混合后，点火引爆。可通过调节风机转速来调节砂型紧实度 气流紧实静压造型的过程包括：①在砂箱内填砂（模板上有通气塞）；②对型砂施以压缩空气进行气流加压（一般0.3s），通入的压缩空气穿过型砂经通气塞排出，此时越靠近模板处型砂密度越高；③用压实板在型砂上部压实，使其上下紧实度均匀。此法砂箱吃砂量较小，起模斜度较小 气流紧实造型可用于生产精度要求高的各种复杂铸件的大量生产。其中气流冲击造型比静压造型具有更大的适应性	适于生产精度要求高的各种复杂铸件的大量生产
4	震压造型	震压造型，即震击和加压使型内砂子紧实。其砂型密度的波动范围小，可获得紧实度较高的砂型。一般应用较多的是微震压实造型方法，其振动频率为400～500Hz，振幅小，可同时微震压实，也可先微震后压实，比单纯压实可获得较高的砂型紧实度，均匀性也较高。可用于精度要求较高、较复杂铸件的成批大量生产 由于震压造型机的振动大、噪声大、生产率低等原因，现正逐渐被高压、射压、气流紧实等高效率造型机所取代	正逐渐被高压、射压、气流紧实等高效率造型机所取代

（续）

序号	方案	基 本 概 念	使用范围
5	抛砂造型	抛砂造型是用机械的方法将砂团以高速抛入砂箱，使砂层在高速砂团的冲击作用下得到紧实。砂团的速度越大，砂型紧实度越高。若供砂情况和抛头移动的速度稳定，则砂型各部分紧实度均匀 抛砂造型和其他紧砂方法相比，有以下特点：①适应性强，只要在抛头的工作范围内，不同砂箱尺寸的砂型都可以用抛砂机造型，特别对于小批量生产的中、大型铸件，其适应性更好；②填砂与紧实同时进行，两套机构合一，对于造大的砂型来说，抛砂机的结构简单，对工艺装备要求不高，甚至可以使用木模样；③能量消耗小，直接利用机械能紧实型砂 但抛砂造型也有一定缺点，主要是：①砂型顶部还需补充紧实，浪费人工；②不适宜造过小的砂型，否则撒落砂过多；③对型砂质量要求较高，型砂中严禁有铁钉、铁块等金属杂物；④抛头叶片磨损严重，备件要多，更换麻烦；⑤操作工要求熟练，一般要经过严格的训练；⑥大型抛砂机工人，要求坐在抛砂机座椅上操作，振动对工人有不利的影响 抛砂造型既可以用来紧实砂型，也可以用来制芯。既适用于中大件的砂箱造型，也可用于地坑造型。单件、小批、成批均可使用，但铸件的精度较低，并存在上述缺点，目前应用较少	适于小批量生产的中、大型铸件。但目前应用较少

表 3-4　机器造型方案的选择

序号	考 虑 因 素	选 择 原 则
1	铸件精度	当生产铸件尺寸精度高，表面粗糙度要求高的铸件时，应选择砂型紧实度高的造型方法
2	铸件材质	铸件材质不同，对砂型刚度的要求不同。一般铸钢、铸铁要求高于非铁合金，球墨铸铁高于灰铸铁和可锻铸铁。对于砂型刚度要求高的材质，宜选用砂型紧实度高的造型方法
3	铸型结构	当铸件具有狭小凹槽、高的吊砂、密集的出气孔等时，应选用起模精度高、砂型紧实度均匀的造型方法
4	铸件产量、批量和品种	产量大、批量大、品种单一的铸件，宜选用生产效率高（或专用）的造型设备；小批量及多品种铸件宜选用工艺灵活、生产组织方便的造型设备。单件生产以手工造型为宜
5	铸件形状、大小和重量	在条件许可时，形状相似、大小及重量差别不大的铸件，应选用同一造型机。当砂箱需要设置箱带时尤其如此，以便于砂箱的统一
6	型砂的要求	在一条生产线上布置多组造型机时，应尽量考虑统一型砂的要求来选择造型机
7	造型车间的配套设备	在老车间改造时，此点尤为重要，要结合原车间厂房条件、其他配套设备（如熔炼、砂处理等）的生产能力、工艺水平、运输条件、工艺流程等，用系统工程的观点进行分析，确定选用哪一种造型机最为合适，以发挥投资的最大效益

（续）

序号	考虑因素	选择原则
8	工装条件	模样的尺寸精度和表面粗糙度水平应与所选用的造型机相匹配
9	绿色要求	优先选用少、无公害(噪声低,不散发有害气体)的、能满足环境保护、工业卫生和劳动安全的造型设备
10	与造型线配置	高效率的造型机应配造型线而不单独使用

2. 机器制芯的解决方案及选择原则（见表 3-5）

表 3-5　机器制芯的解决方案及选择原则

序号	制芯方案	方案特点	选择原则
1	震实式及翻台震实式	靠震击紧实砂芯。这类制芯机应用得较普遍,但其噪声大,生产率低,对厂房基础要求高	适用于制造不填焦炭块的中、大砂芯的成批、大量生产
2	微震压实式	在微震的同时加压紧实砂芯。生产效率高,但机器结构复杂,仍有噪声	可用于制造粘土砂芯、合脂砂芯、桐油砂芯
3	螺旋挤压式	利用机械传动,将芯砂从成形管连续压出而制造砂芯。螺旋挤压式是根据模孔大小,调节螺旋推砂器的速度来控制砂芯的紧实度,其生产率一般为 150～300m/h	用于大量生产的截面形状、尺寸不变的小砂芯
4	射芯式	将混制好的芯砂以一定的压力射入芯盒内,通过化学或物理作用,使芯砂快速在芯盒内固化,硬化后取出,得到表面光洁、尺寸精确、强度高的砂芯。操作方便,生产率高,易于机械化 主要有热芯盒制芯、冷芯盒制芯(包括三乙胺法、甲酸甲酯法、SO_2 法、CO_2 法)和覆膜砂制芯	用于成批、大量生产中、小型简单或复杂的砂芯

3.1.3　干型和表干型方案

粘土、膨润土是一种价格低廉、无污染、可反复回用的粘结剂，广泛用于各种潮模砂手工造型、生产线机器造型。但是，在生产质量要求较高、结构较复杂的铸件时，为了克服湿型砂强度低、水分高的缺点，可采用干型或表干型。干型及表干型方案的特点及应用范围见表 3-6。

表 3-6　干型及表干型的特点和选择

序号	铸型种类	方案特点	适用范围
1	干型	水分少，强度高，透气性好，成本高，劳动条件差，不易实现机械化和自动化	结构复杂，质量要求高，适用于单件、小批、中大型铸件的生产
2	表面烘干型（表干型）	只将表面层烘干（烘干层厚度为 15 ~ 80mm）。具有干型的一些优点，避免和克服了干型的缺点	同干型相比，生产率高，成本低，适用于铸件结构较复杂、质量要求较高的单件、小批生产的中、大型铸件

3.1.4　水玻璃砂造型（芯）的解决方案

1. 水玻璃砂工艺解决方案

按其硬化方法，水玻璃砂工艺解决方案可分三类，即传统 CO_2 法、有机酯自硬法和 VRH-CO_2 法。各种方案的特点见表 3-7。

表 3-7　水玻璃砂造型（芯）工艺解决方案

序号	方案	特点
1	传统 CO_2 法	CO_2 法具有工艺操作简单、无毒无味、可造型制芯、使用灵活等许多优点。缺点是砂型强度低、水玻璃加入量高（≥8%）、溃散性差、清砂极端困难；砂型存放中易吸湿，表面易霜化和粉化；旧砂再生非常困难，增加了新砂用量，造成环境污染。因此，其应用受阻
2	有机酯自硬法	水玻璃的固化剂采用液体的有机酯。有机酯在碱性水玻璃溶液中发生水解，生成醇和有机酸。醇和有机酸有很强的亲水性，能夺去水玻璃的水分，使水玻璃固化，可使砂型（芯）具有很高的强度、抗湿性和硬透性 铸造用有机酯有：甘油醋酸酯、乙二醇醋酸酯、二甘醇醋酸酯和丙烯碳酸酯等，加入量为水玻璃的 8% ~12%。根据型（芯）大小和水玻璃的模数，选用快酯、中酯和慢酯 此工艺，型砂流动性好容易紧实，透气性好，不粘膜，硬化后起模尺寸稳定，便于实现机械操作
3	VRH-CO_2 法	VRH-CO_2 法就是水玻璃砂型（芯）在真空室内经真空脱水硬化后，再吹入 CO_2 气体，进行化学硬化 工艺特点：①水玻璃加入量少（2.5% ~3.5%），CO_2 消耗少；②型（芯）的残留强度很低，显著改善砂型的溃散性，是一种解决水玻璃砂清砂困难的有效办法；③砂型具有硬化均匀、强度高、含水率低、存放性好等特点，适于多品种、单件小批生产。我国有些工厂从国外引进了 VRH 造型装置，并用于生产 缺点是：设备的一次性投资大；生产效率低，不适用于批量生产；受真空室尺寸的限制，不能用于中、大型铸件

2. 适用范围

水玻璃的原材料资源丰富、价格便宜；水玻璃砂在混制、造型、浇注和落砂过程中不析出有毒气体，也无黑色污染，是一种较好的清洁造型、制芯的型砂粘结剂；型砂不含氮、硫、磷，在高温下呈现一定的塑性，比较适用于浇注铸钢件和大型铸铁件。

3.1.5 自硬树脂砂造型（芯）的解决方案

自硬树脂砂工艺系指在室温下，通过向型、芯砂加入一定量的液体树脂粘结剂及固化剂，使之在砂箱或芯盒中在一定时间内能自行硬化成型的一种造型（芯）工艺。

1. 自硬树脂砂工艺方案的优点、种类及应用范围（见表 3-8）

表 3-8　自硬树脂砂工艺方案的优点、种类及应用范围

<table>
<tr><th>优　　点</th><th>种　　类</th><th>应 用 范 围</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1）与粘土砂相比，树脂砂工艺铸件的尺寸精度可提高二级，表面粗糙度值可降低 1 ~2 级，铸件废品率可减少一半，从而增加了企业的产品在市场中的竞争能力
2）型、芯砂能常温自硬成型，节能节材，改善工人的作业条件
3）型、芯砂在可使用时间内流动性好，能在较小紧实力作用下，较好地充填形状复杂的型、芯各个部位，明显减轻工人的劳动强度
4）芯砂的溃散性好，铸件落砂、清理容易
5）能明显提高车间的单位面积产量，降低车间里空气中的粉尘含量</td><td>酸固化的呋喃树脂砂</td><td>适用于铸铁件生产</td></tr>
<tr><td>酯固化的碱性酚醛树脂砂</td><td>在铸钢件生产中有广泛的应用前景</td></tr>
<tr><td>胺固化的酚尿烷树脂砂</td><td>适用于小型铸钢件和铸铁件生产</td></tr>
<tr><td colspan="2">自硬树脂砂工艺的特点是生产效率不高，较适用于单件、小批量、多品种的中型、大型铸件的型（芯）生产，故在我国的机床、通用、机车、造船和重型等行业得到了广泛应用</td></tr>
</table>

2. 自硬树脂砂的分类、配方、特点及适用范围（见表 3-9）

表 3-9　自硬树脂砂的分类、配方、特点及适用范围

<table>
<tr><th colspan="2">自硬树脂砂分类</th><th>呋喃树脂自硬砂</th><th>碱性酚醛树脂自硬砂</th><th>胺固化酚尿烷自硬砂</th></tr>
<tr><td rowspan="2">配方</td><td>粘结剂</td><td>呋喃树脂，加入量为原砂重量的 0.9% ~1.2%</td><td>碱性酚醛树脂，加入量为原砂重量的 1.5% ~2.0%</td><td>酚醛树脂: 聚异氰酸酯 =1 : 1
总加入量为原砂重量的 1.5%</td></tr>
<tr><td>固化剂</td><td>对甲苯磺酸，加入量为树脂重量的 30% ~50%</td><td>甘油醋酸酯，加入量为树脂重量的 30% ~40%</td><td>有机胺，加入量为酚醛树脂重量的 0.7% ~0.8%</td></tr>
</table>

（续）

自硬树脂砂分类	呋喃树脂自硬砂	碱性酚醛树脂自硬砂	胺固化酚尿烷自硬砂
特点	优点:常温强度和高温强度高,树脂加入量少,耗砂量少,型砂耐热性好。树脂粘度小便于混砂。树脂稳定性好可存放1~2年。树脂砂硬透性好。新砂用量少,旧砂再生率>90% 缺点:树脂含游离醛高0.3%~0.5%,浇注时放出有害气体污染环境。树脂含氮和发气率高,铸件易产生气孔。固化剂含硫和树脂砂高温塑性低,铸钢件易出现热裂。型砂吸湿性较大,雨季铸件废品率增加。对原砂质量要求高。冬季硬化速度慢,固化剂易结晶。不能用于碱性原砂	优点:树脂砂中不含硫、磷和氮等元素,没有这些元素引起的缺陷。在浇注初期型砂有一定热塑性,可减少铸钢件热裂倾向。树脂含游离醛少,改善了劳动环境。对原砂要求不高,碱性原砂也可使用。硬化性能好,在较低温下可固化。抗吸湿性好,溃散性好 缺点:树脂强度偏低,加入量较多。树脂粘度大混砂难均匀。型砂导热性较差。旧砂再生率较低	优点:在可使用时间内,型砂流动性好。树脂硬化速度快,可使用时间和起模时间之比可达0.75:1.0。树脂聚合固化过程中没有其他副产物生成,型芯砂硬透性好。型(芯)砂发气量低,落砂性能好 缺点:聚异氢酸酯活性大,与水易水解,要求原砂含水量很低。型砂耐高温性差,芯子易被冲蚀,易产生脉纹类缺陷。聚异氰酸酯的价格较高。树脂含氮,生产铸钢件产生气孔,容易粘膜
应用范围	适用于单件小批量生产的大、中型铸铁件	适用于铸钢,特别是不锈钢、球墨铸铁件和非铁合金件	适用于批量生产小型铸钢件及其他复杂铸铁件

3.1.6　实型铸造与实型负压铸造方案

1. 实型铸造方案

实型铸造（又称消失模铸造）是采用泡沫塑料模料模样（包括浇冒口）替代木模或金属模，造型后模样不取出，形成无型腔铸型，浇注时高温金属液使模样燃烧、汽化、消失，金属液填充模样位置，冷却、凝固形成铸件。

实型铸造的特点、适用范围和存在问题见表3-10。铸造用泡沫塑料的规格和牌号见表3-11。实型铸造用耐火涂料和表面光洁涂料见表3-12。

表3-10　实型铸造的特点、适用范围和存在问题

特　点	存在问题	适用范围
1）实型铸造没有分型、起模工序,极大地扩充了铸造工艺的可行性和设计自由度,使模样可以按照铸件使用要求设计 2）大大简化了造型工序,取消了复杂造型材料的准备、砂处理、分型、下芯、合型等许多繁杂工序,使造型效率提高了2~5倍 3）铸件的尺寸形状准确,重复性好,可减少加工余量,它是一种近无余量精确成型的新工艺,尺寸精度和表面粗糙度值接近熔模精密铸造 4）砂处理、造型及清理设备的投资减少30%~50%,铸件成本可下降10%~30%。造型材料废弃物少、污染少,容易实现清洁生产,劳动环境好	1）进一步提高实型铸造工艺水平和铸件质量 2）开发铸造专用发气量低、残留物量小的发泡塑料 3）开发有足够强度、润湿性好、透气性高的铸造涂料 4）铸钢件易出现增碳、增氢问题 5）铸铝件易出现组织粗大及缩松	应用范围较广,几乎不受铸件结构、尺寸、材料、批量的限制,特别适合于高精度、小余量、复杂铸件的生产

表 3-11　铸造用泡沫塑料的规格和牌号

型号	牌号	密度 ρ/(g/cm³)	规格		适用范围
			聚苯乙烯珠粒筛号数	板材(长×宽×高)/mm	
Zkb-18	铸-1	0.015~0.020	10~16	1500×1000×100	铸铁及非铁合金
Zkb-18	铸-2	0.020~0.025	17~20	1500×1000×50	铸钢件
Zkb-18	铸-3	0.06~0.12	21~25	—	精密铸件

表 3-12　实型铸造用耐火涂料和表面光洁涂料（质量分数）　（%）

分类	序号	耐火材料				粘结剂	溶剂	适用范围
		铝矾土	刚玉粉	石墨粉	其他	聚乙烯醇缩丁醛	乙醇	
耐火涂料	1	10~20	—	—	硅石粉 40~50	3.0~3.5	35~45	普通碳钢铸件
	2	10~20	—	—	锆砂粉 40~50	3.0~3.5	35~45	合金钢及厚大碳钢铸件
	3	10~20	45~60	—	—	3.0~3.5	30~40	
	4	10~20	—		镁砂粉 45~60	3.0~3.5	30~40	高锰钢铸件
	5	70~80	—	10~20	—	少量（膨润土 6~8）	适量	普通铸件
	6	50~60	—	5~10	—	适量	35~40	
	7	25~40	25~40	5~10	—	适量	35~40	厚壁及要求较高的铸铁件
	8	—	25~40		锆砂粉 25~40	适量	35~40	

分类	序号	硝酸纤维素	乙醇	乙二醇乙醚酯	苯二甲酸丁二酯	石蜡	蓖麻油	樟脑	适用范围
表面光洁涂料	1	25	50	12.5	3.12	—	3.13	6.25	表面粗糙度要求高的铸件
	2	—	43	—	—	10	硬脂酸 40、苯 7		普通铸件
	3	—	—	—	—	100	泡沫塑料粉末适量		普通铸件
	4	—	—	—	牛油 80	20	泡沫塑料粉末适量		普通铸件

2. 实型负压造型方案

实型铸造与“V 法造型”技术相结合，形成“实型负压造型”法。它克服了实型铸造型砂不容易紧实，浇注时模样分解产物排气困难，场地烟雾污染环境的缺点，同时保留了实型铸造的优点。另一方面也克服了单纯“V 法造型”维持负压时间长、铸件形状受限制的缺点，是两种工艺方案最完美的结合。

实型负压造型的工艺特点见表 3-13。

表 3-13　实型负压造型的工艺特点

序号	工艺过程	工艺特点
1	紧砂过程	1）与真空密封造型相同，在振动与负压双重作用下，干砂表面硬度可达 90 2）采用抽气负压紧实，比实型铸造的紧实度均匀
2	充型过程	1）负压改善了合金的充型能力，复型性良好 2）负压的大小对充型速度的影响比浇注充型过程系统截面积的影响大 3）充型过程中，发生的烟气被及时抽走，改善环境
3	凝固过程	1）由于压差的作用，浇注系统有一定的补缩能力 2）凝固收缩一般低于砂型铸造
4	冷却过程	在停止抽气后，由于干填砂热导率低，铸件冷却缓慢，铸型对铸件收缩阻碍小，铸件的收缩应比砂型低
5	其他	1）铸钢件略有增碳 2）铸铁件力学性能略低，但均匀

负压实型铸造应用案例：球墨铸铁曲轴和管件采用实型负压铸造，效果很好。用实型负压铸造球墨铸铁曲轴，消除了普通砂型铸造存在的皮下气孔和缩松缺陷，使铸造成本降低 20% ~30%，生产率提高一倍以上，技术经济效果显著。

3.1.7　负压造型解决方案

负压造型（又称真空密封造型、减压造型、或 V 法造型）是借助真空压力将加热呈塑性的塑料薄膜覆盖在模样和模板上，向砂箱内填入无粘结剂的干砂，再用塑料薄膜将砂型顶面密封，抽真空，使型砂紧实、起模、下芯、合型、浇注，直至凝固得到铸件，如图 3-1 所示。

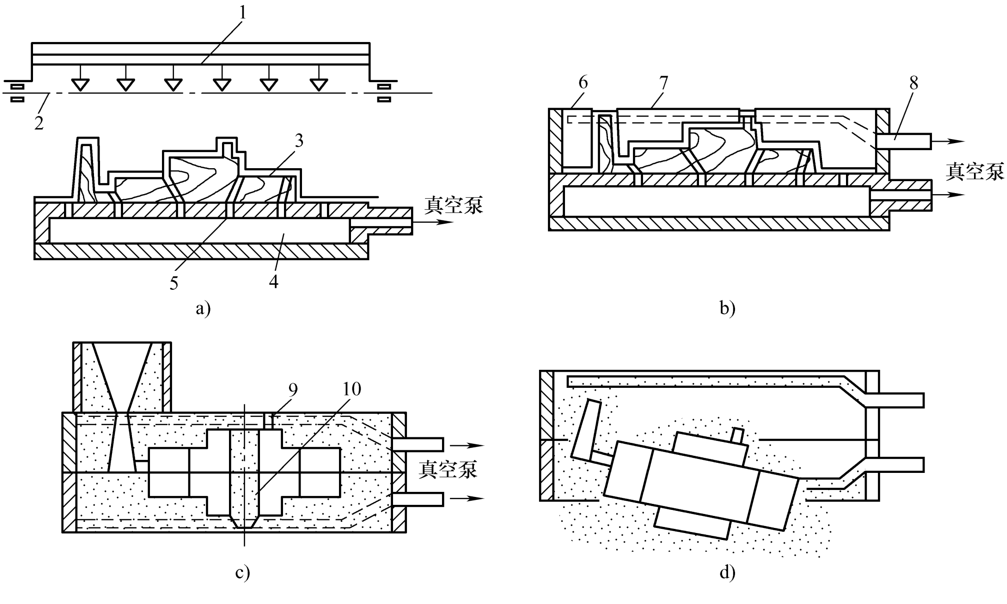


图 3-1　负压造型工艺过程示意图

a）覆膜成形　b）填砂、抽真空紧实　c）下芯、合型、浇注　d）去除真空、落砂、取铸件
1—发热元件　2—塑料薄膜　3—塑料薄膜烘烤后成型　4—抽气箱　5—抽气孔　6—砂箱
7—密封塑料薄膜　8—抽气管　9—通气道　10—砂芯

负压造型的特点及选择原则见表 3-14。

表 3-14　负压造型的特点及选择原则

<table>
<tr><td>特点</td><td colspan="10">1）铸件的尺寸精度高，轮廓清晰，表面光洁
2）型砂中无粘结剂、水及附加物，简化了砂处理工序
3）铸件清理方便，劳动强度低，浇注过程中有害气体少，容易实现清洁生产，劳动条件好</td></tr>
<tr><td>塑料薄膜</td><td colspan="10">按使用分为两种：①型腔薄膜（采用乙烯醋酸乙烯）；②背膜（采用聚乙烯）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">涂料
（质量份）</td><td>分类</td><td>锆砂粉</td><td>刚玉粉</td><td>膨润土</td><td>粘土</td><td>酚醛树脂</td><td>活性剂</td><td>滑润剂</td><td>乌洛托品</td><td>工业乙醇</td></tr>
<tr><td>碳钢、合金钢铸件</td><td>70～85</td><td>15</td><td>1～5</td><td>1</td><td>2～5</td><td>0.05～0.10</td><td>0.01～0.10</td><td rowspan="3">是树脂的 8%～15%</td><td rowspan="3">适量</td></tr>
<tr><td>高锰钢铸件</td><td colspan="2">镁砂粉 100</td><td>1～5</td><td>—</td><td>2～5</td><td>0.01～0.10</td><td>0.01～0.10</td></tr>
<tr><td>铸铁件</td><td colspan="2">硅石粉 60～80
石墨粉 15～30
鳞片石墨 5～1</td><td>2～5</td><td>1</td><td>2～5</td><td>0.05～0.10</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">有待完善的问题</td><td colspan="9">1）复杂铸件用高伸长率的塑料薄膜的研制与开发
2）解决因回用砂表面存在薄膜汽化残留物，导致型砂紧实性能下降的问题</td></tr>
<tr><td colspan="2">选择原则</td><td colspan="9">应用范围广泛，既适用单件小批生产，也适于大批量生产，尤其是大中型精密、薄壁铸件的生产</td></tr>
</table>

3.2　铸造工艺方案的确定

3.2.1　零件结构的铸造工艺性分析

零件结构的铸造工艺性是指零件本身的结构应符合铸造生产的要求和铸造特点。零件结构的铸造工艺性好，能简化铸造工艺过程、保证铸件质量和降低生产成本。对零件图进行工艺分析时应思考两点：一是审查零件结构是否符合铸造生产的工艺要求，发现有不合理的结构可以与设计人员协商，在保证使用性条件下予以改进。二是在既定结构条件下，预估铸造中可能出现的铸造缺陷，以便在工艺设计时采取工艺措施予以防止。

对零件的铸造工艺性分析应从两个方面着手和采取措施。

一是从保证铸件质量着手分析。为了减少铸造缺陷，保证铸件质量，在结构上：①铸件应有合理的壁厚，铸造合金种类不同，则能浇注的最小壁厚也不同；各种铸造合金均具有临界壁厚，铸件设计不应单纯以增加壁厚来提高强度，而应根据零件受力大小和载荷性质选定合理截面形状，或设置加强肋来增强铸件；②铸件壁的过渡

和连接要合理，铸件壁厚应力求均匀，不同壁厚的连接应采用圆弧过渡或逐渐过渡；③铸件外壁厚度大于内壁厚度；④铸件结构应有利于补缩；⑤铸件结构应有利于防止变形；⑥铸件结构应防止产生裂纹和减少内应力；⑦避免水平位置有较大的平面，尽量采用斜壁、曲面壁等。

二是从简化工艺过程着手分析。铸件结构不仅要保证铸件质量，也要考虑制模、造型（芯）、下芯、清理等工艺过程操作方便、可靠。在保证质量和使用性能的基础上，尽量简化工艺过程，以提高生产率，降低成本。因此，在零件结构铸造工艺性分析时，应注意铸件结构：①应便于造型起模；②简化制芯操作和减少砂芯数量；③简化和减少分型面；④有利于砂芯的安置、固定、排气和清理；⑤有利于简化铸造方式。

3.2.2　浇注位置的确定原则

浇注位置是指浇注时铸件在砂型内所处的位置。浇注位置确定的是否合理，将直接影响着铸件质量，影响着模样、芯盒、砂箱的结构、型芯的数目、浇冒口的位置以及造型方法，正确的浇注位置应能保证获得健全的铸件，并使造型、制芯和清理方便。因此，它是铸造工艺的基础。根据生产实践经验，确定铸件浇注位置的一般原则：

1）对于厚薄不均匀的铸件，应将铸件上需要补缩的厚大部位置于浇注位置的上方或侧面，以便安放冒口，实现定向凝固，利于冒口补缩，防止产生缩孔和缩松。这对于体收缩大的合金（如铸钢件）特别重要，如图 3-2 所示。

2）对于薄壁铸件，应将薄而大的平面朝下，有条件时，应侧立或倾斜，以保证铸件能充满，避免冷隔、浇不到等缺陷，此原则对流动性差的合金尤为重要，如图 3-3 所示。

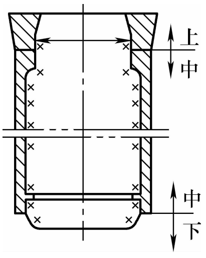


图 3-2　铸钢卷筒的浇注位置

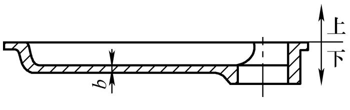


图 3-3　盖的浇注位置

3）应将铸件的重要加工面、主要受力面朝下，如果不能朝下，可将其侧立或斜置，以减少气孔和夹杂，如图 3-4a、c 所示。

4）应将铸件的宽大平面应朝下或侧立或倾斜，以免形成夹砂和夹杂，如图 3-4b 所示。

5）当铸件有多个加工面时，应将较大的面朝下或侧立或斜置，以减少气孔和夹杂，如图 3-4d 所示。

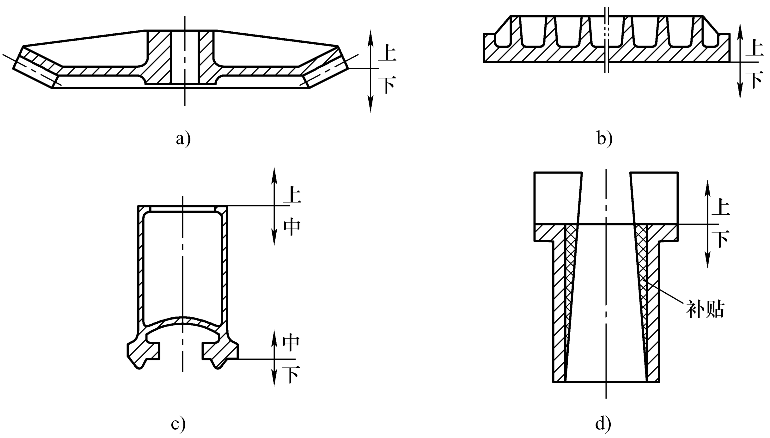


图 3-4　几种铸件的浇注位置

a）锥齿轮　b）平台　c）床身　d）滚筒

6）应有利于砂芯在铸型中安放牢固、定位准确、排气通畅、合型和检验方便，应尽量减少砂芯的数量，尽量不用吊砂、吊芯、悬臂芯和芯撑，尽量使大型芯的芯头朝下，如图 3-5 所示。

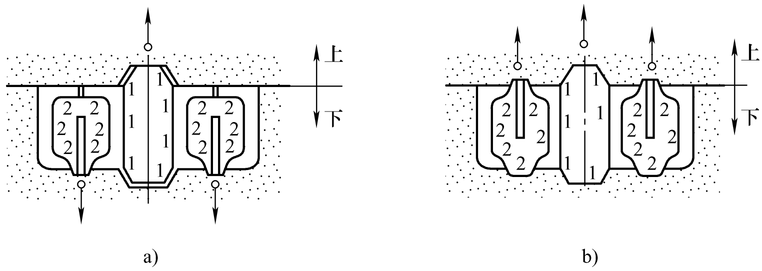


图 3-5　浇注位置有利于砂芯安放

a）不合理　b）合理

7）一般情况，应使铸件的造型合型、浇注位置、铸件冷却位置一致为宜，以免铸型在翻转过程发生错位或损坏。但有时为了方便造型，又要保证铸件的内在质量，对质量有特殊要求的铸件（如试压件、大型曲轴和卷筒类铸件），也可采用“平作立浇立冷”工艺。

8）铸件的浇注位置应尽量方便造型、下芯、合型等操作；便于型（芯）重要尺寸的检查；并尽量简化操作过程，降低铸件的制造成本，提高劳动生产率。

3.2.3　分型面的选择原则

分型面是指两半个砂型相互接触的表面，确定分型面是以能方便造型起模和型芯装配为原则的。一般情况下，总是先从保证铸件质量出发选定浇注位置，然后，再从

方便造型操作出发选定分型面。当浇注位置确定后，应尽量使分型面与浇注位置相适应。当简化操作成为铸造的关键时，也可优先考虑分型面。

分型面的确定，一般应考虑如下原则：

1）为保证铸件精度，应尽可能将铸件的全部或大部分放在下砂箱内。如果条件不许可，也应尽量使加工基准面和大部分加工面置于同一砂箱。

2）尽量把铸件的加工定位面和主要加工面放在同一砂箱内，以减少加工定位的尺寸偏差。

3）尽量减少分型面的数量，以简化造型操作，提高铸型精度。机器造型一般只有一个分型面，避免使用活块，必要时用砂芯代替活块。

4）为便于合箱和检验砂芯，应尽量使基本砂芯位于下铸型。采用两箱造型时，分型面的选择应使铸型的总高度最小，砂芯的数量最少。

5）尽量采用平直的分型面，以减少制造模样等工艺装备的工作量。但在大量生产或特殊情况下，分型面也可采用凸凹、曲折和阶梯面。

6）分型面应选在铸件的最大截面处，以方便起模。对于较高的铸件，尽量不使模样在一箱内的高度过高。

7）分型面应尽量和浇注位置一致，避免合箱后翻转铸型，引起砂芯松动，铸件尺寸不准。此外，分型面的选择还应考虑外观、有利于减少落砂清理及机械加工的工作量。

8）选择分型面时，应考虑到造型方法。

在进行铸件浇注位置和分型面的具体选择时，应结合生产实际条件和任务性质，进行多种方案的对比和论证，从优选择。

3.2.4 砂箱中铸件的数量和排列

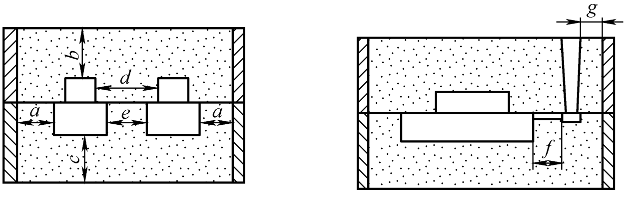
手工造型，通常是利用车间现有砂箱尺寸规格确定铸件件数。机器造型，通常是根据造型机允许的最大砂箱尺寸，确定铸件件数。无论利用原有砂箱或设计专用砂箱，在砂箱内布置铸件时，均应考虑合理的吃砂量。

模样与砂箱壁、箱顶、箱底、箱带之间的距离，称为吃砂量。适当的吃砂量，可以使舂砂操作方便，可以避免产生胀砂、包砂、掉砂、跑火等铸造缺陷。

手工造型的吃砂量（推荐值）见表 3-15。

高压造型的吃砂量（推荐值）见表 3-16。

表 3-15 手工造型的吃砂量 （单位：mm）

图示	

（续）

铸件分类	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*
小件	20～30	35～60	50～75	上型模样高度的$\frac{1}{2}$	下型模样高度的$\frac{1}{2}$	20～50	20～30
中件	50～75	75～100	100～125			40～75	50～75
大件	125～175	150～200	175～200			75～150	120～175

表3-16　高压造型的吃砂量　（单位：mm）

模样高度	模样距离	模样与砂箱壁的距离	说　　明
≤25	25～30	40～50	薄壁件取下限，厚实件取上限
>25～50	31～50	45～60	
>50	51～70	50～70	

3.3　铸造工艺参数

在铸件的铸造工艺方案确定后，就要选择工艺参数。工艺参数是指在铸造工艺设计过程中，需要确定的一些设计数据。

3.3.1　铸造线收缩率

铸造线收缩率又称铸件收缩率、铸造收缩率、缩尺。铸件固态收缩的结果使铸件尺寸变短，其变短的量即为线收缩量。在制作模样时，将尺寸变短的量（线收缩量）加上，以保证固态收缩后铸件的尺寸符合要求。

铸造收缩率用线收缩量除以模样长度的百分比表示，即

$$\varepsilon=\frac{L_{模}-L_{件}}{L_{件}}\times100\%$$

式中　ε——铸造线收缩率（%）；

$L_{模}$——模样长度（mm）；

$L_{件}$——铸件长度（mm）。

铸造线收缩率的大小与铸造合金成分、砂型（芯）退让性、铸件结构的复杂程度、壁厚大小等多种因素有关。

大批量生产时，应先通过试生产，测定出各部分的实际线收缩率，据此修改模样，再大批生产。单件小批生产时，常凭经验选取铸造收缩率，并用工艺补正量和机械加工余量的措施予以调整，从而保证铸件尺寸。

1. 铸钢件的铸造收缩率（见表3-17～表3-20）

表 3-17 铸钢件粘土砂型手工造型的线收缩率

钢种（质量分数）	砂 型 特 点	铸造线收缩率（%）
碳素钢	小型铸件	1.8～2.2
	中型铸件	1.6～2.0
	大型铸件	1.4～1.8
高锰钢（Mn13%）	大型铸件	2.3～2.8
耐热钢（Cr25%，Ni20%）		1.8～2.2
高铬钢（Cr28%）		1.6
不锈钢（Cr18%，Ni9%）		2.7

注：收缩阻力大时，取下限。

表 3-18 铸钢件湿型机器造型的线收缩率

模样长度/mm	砂型阻力	线收缩率（%）	模样长度/mm	砂型阻力	线收缩率（%）
≤650	自由收缩	2.0	≤500	受阻收缩	2.0
650～1850		1.5	500～1200		1.5
>1850		1.25	1201～1700		1.25
			>1700		1.0

表 3-19 铸钢件水玻璃硅砂型的线收缩率

铸件		线收缩率（%）	铸件		线收缩率（%）
厚度/mm	长度/m		厚度/mm	长度/m	
<35	2～2.5	1.4	65～100	2～3.5	1.8
	2.5～4.0	1.2		3.5～4.0	1.7
35～64	≤4.0	1.6	>100	2～4	2.0

表 3-20 铸钢件水玻璃石灰石砂型的线收缩率

铸件		线收缩率（%）	铸件		线收缩率（%）
厚度/mm	长度/m		厚度/mm	长度/m	
<30	<1.0	2.0	61～100	<2.5	2.18
	1.0～2.3	1.9		2.5～4.2	2.1
	2.3～4.0	1.8		4.2～6.0	2.0
	4.0～6.0	1.7	101～200	<1.8	2.3
31～60	<1.2	2.1		1.8～4.8	2.2
	1.2～4.0	2.0	>200	4.8～6.0	2.08
	4.0～6.0	1.9		<2.5	2.4
				2.5～5.0	2.3

2. 铸铁件的铸造线收缩率（见表 3-21）

表 3-21　铸铁件的铸造线收缩率

铸件种类			铸造线收缩率(%)	
			受阻收缩	自由收缩
灰铸铁	中小型铸件		0.8～1.0	0.9～1.1
	大中型铸件		0.7～0.9	0.8～1.0
	特大型铸件		0.6～0.8	0.7～0.9
	筒形铸件	长度方向	0.7～0.9	0.8～1.0
		直径方向	0.5	0.6～0.8
孕育铸铁	HT250、HT300		0.7～0.9	0.9～1.1
	HT350		1.0	1.5
白口铸铁			1.5	1.75
球墨铸铁	珠光体球墨铸铁		0.8～1.2	1.0～1.3
	铁素体球墨铸铁		0.6～1.2	0.8～1.2
可锻铸铁	珠光体可锻铸铁		1.2～1.8	1.5～2.0
	珠光体可锻铸铁		1.0～1.3	1.2～1.5

注：1. 简单厚实铸铁的收缩率可视为自由收缩，此外，均视为阻碍收缩。按其受阻的程度，选用适当的收缩率。

2. 同一铸件，视其结构，其局部与整体、纵向与横向或长、宽、高三个方向的线收缩率可能不一致。对重要的铸件，分别给以不同的线收缩率。

3. 线收缩率的影响因素：①结构复杂件或厚度不均匀件，线收缩率较小并且各方向不一致；②细长件，沿长度方向线收缩率比其他方向小；③型芯多时，线收缩率小；④退让性好的砂型型芯（如树脂砂），线收缩率较大；⑤湿型线收缩率比干型的大。

3. 非铁合金铸件的线收缩率（见表 3-22）

表 3-22　非铁合金铸件的线收缩率

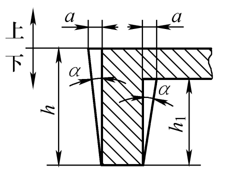
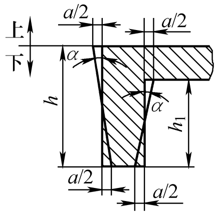
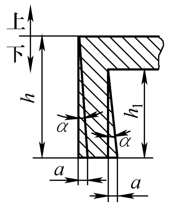
合金种类	线收缩率(%)		合金种类	线收缩率(%)	
	受阻收缩	自由收缩		受阻收缩	自由收缩
锡青铜	1.2	1.4	铝硅合金	0.8～1.0	1.0～1.2
无锡青铜	1.6～1.8	2.0～2.2	铝铜合金 $w(Cu)=7\%\sim12\%$	1.4	1.6
锌黄铜	1.5～1.7	1.8～2.0			
硅黄铜	1.6～1.7	1.7～1.8	铝镁合金	1.0	1.3
锰黄铜	1.8～2.0	2.0～2.3	镁合金	1.2	1.6

3.3.2　起模斜度

为便于起模或从芯盒中取出砂芯，需要在模样和芯盒垂直分型面的壁设计一个向着分型面逐渐扩大的斜度，即称起模斜度。

1. 起模斜度的类型及其应用（见表 3-23）

表 3-23　起模斜度类型及其应用

类型	正起模斜度	正负起模斜度	负起模斜度
简图			
方法	增加一端的壁厚	增加一端 减少另一端的壁厚	减少一端的壁厚
应用	用于和其他零件配合 的加工面	用于不与其他零件配合 的加工面	用于与其他零件配合 的非加工面

注：表图中 a、α 的数值，见表 3-24 及表 3-25。

2. 粘土砂造型时的起模斜度（见表 3-24）

表 3-24　粘土砂造型时的起模斜度（JB/T 5105—1991）

测量面高度/mm	金属模样、塑料模样		木模样	
	α	a/mm	α	a/mm
模样外表面的起模斜度				
≤10	2°20′	0.4	2°55′	0.6
>10～40	1°10′	0.8	1°25′	1.0
>40～100	0°30′	1.0	0°40′	1.2
>100～160	0°25′	1.2	0°30′	1.4
>160～250	0°20′	1.6	0°25′	1.8
>250～400	0°20′	2.4	0°25′	3.0
>400～630	0°20′	3.8	0°20′	3.8
>630～1000	0°15′	4.4	0°20′	5.8
>1000～1600	—	—	0°20′	7.9
>1600～2500	—	—	0°15′	11.0
>2500	—	—	0°15′	—
模样凹处内表面的起模斜度≤				
≤10	4°35′	0.8	5°45′	1.0
>10～40	2°20′	1.6	2°50′	2.0
>40～100	1°05′	2.0	1°15′	2.2

（续）

模样凹处内表面的起模斜度≤				
>100～160	0°45′	2.3	0°55′	2.6
>160～250	0°40′	3.0	0°45′	3.4
>250～400	0°40′	4.6	0°45′	5.2
>400～630	0°35′	6.4	0°40′	7.4
>630～1000	0°30′	8.8	0°35′	10.2
>1000	—	—	0°35′	—

注：1. 当凹处过深时，可用活块或芯子形成。
2. 对于起模困难的模样，允许采用较大的起模斜度，但不得超过表中数值的一倍。
3. 芯盒的起模斜度可参照本表选择。
4. 当造型机工作比压在 700kPa 以上时，允许将本表的起模斜度增加，但不得超过 50%。
5. 同一铸件上下两个起模斜度应该取在分型面上同一点。

3. 树脂砂、自硬砂造型时，模样外表面的起模斜度（见表 3-25）

表 3-25　树脂砂、自硬砂造型时，模样外表面的起模斜度（JB/T 5015—1991）

测量面高度/mm	金属模样、塑料模样		木　模　样	
	α	a/mm	α	a/mm
≤10	3°00′	0.6	4°00′	0.8
>10～40	1°50′	1.4	2°05′	1.6
>40～100	0°50′	1.6	0°55′	1.6
>100～160	0°35′	1.6	0°40′	2.0
>160～250	0°30′	2.2	0°35′	2.6
>250～400	0°30′	3.6	0°35′	4.2
>400～630	0°25′	4.6	0°30′	5.6
>630～1000	0°20′	5.8	0°25′	7.4
>1000～1600	—	—	0°25′	11.6
>1600～2500	—	—	0°25′	18.2
>2500	—	—	0°25′	—

注：自硬砂造型时，模样凹处内表面的起模斜度值，允许按其外表面的斜度值增加 50%。

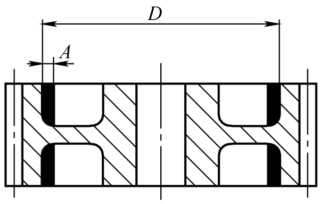
3.3.3　工艺补正量

为防止铸件局部尺寸因各种工艺因素（如选用的缩尺与实际值不符，或由于铸件变形、砂芯位移以及有规律的操作偏差等）的影响而超差，在铸件相应部位的非加工面上增加的金属层厚度，称为工艺补正量。工艺补正量一般需在生产中摸索确定。

生产实践表明，各种齿轮、带法兰的管件、具有凸台和垂直壁的一些铸件，往往容易产生尺寸偏差，常需加上工艺补正量。

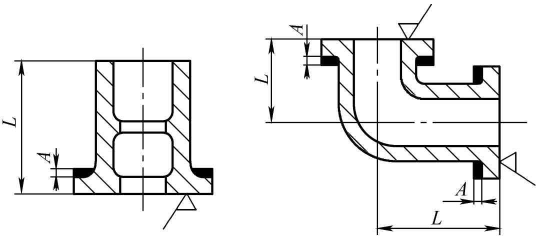
1. 齿轮件的工艺补正量（见表 3-26）

表 3-26　齿轮件的工艺补正量

工艺补正量图示	轮缘内径 D/mm	工艺补正量 A/mm	
		铸钢齿轮	铸铁齿轮
	<500	2	1
	500 ~ 800	3	1. 5
	800 ~ 1000	4	2
	1000 ~ 1400	5	2. 5
	1400 ~ 1800	6	3
	1800 ~ 2400	8	4

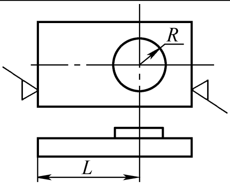
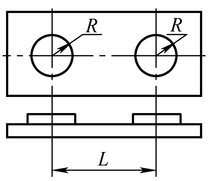
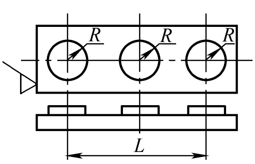
2. 法兰铸件的工艺补正量（见表 3-27）

表 3-27　法兰铸件的工艺补正量

图　　示	法兰间的距离 L/mm	工艺补正量 A/mm	
		铸钢件	铸铁件
	<100	1	2
	101 ~160	1. 5	3
	161 ~250	2	4
	251 ~400	2. 5	5
	401 ~650	2. 5	5
	651 ~1000	3	6
	1001 ~1600	3. 5	7
	1601 ~2500	4	8
	2501 ~4000	5	10
	4001 ~6500	6	12
	6501 ~8000	6	12
	8001 ~10000	8	16
	10001 ~12000	9	18

3. 铸钢件凸台的工艺补正量（见表 3-28）

表 3-28　铸钢件凸台的工艺补正量　　　　（单位：mm）

简　　图			

（续）

L	凸台半径 R		
	<25	26 ~ 50	51 ~ 100
	半径的补正量 A		
<500	3.5	3.5 ~ 5.0	5.0 ~ 7.0
501 ~ 1000	4.5	4.5 ~ 6.0	6.0 ~ 8.0
1001 ~ 1500	5.5	5.5 ~ 7.0	7.0 ~ 9.0
1501 ~ 2000	6.5	6.5 ~ 8.0	8.0 ~ 10.0
2001 ~ 2500	7.5	7.5 ~ 9.0	9.0 ~ 11.0
2501 ~ 3000	8.5	8.5 ~ 10.0	10.0 ~ 12.0
3001 ~ 5000	10.5	10.5 ~ 12.0	12.0 ~ 14.0

3.3.4 铸件尺寸公差

铸件尺寸公差是指铸件公称尺寸的两个允许极限尺寸之差。铸件实际尺寸只要是在这两个允许极限尺寸之内，就能满足加工、装配、使用的要求。铸件尺寸公差代号为“CT”，分 16 个等级，表示为 CT1 ~ CT16。不同方式和规模生产的铸件所能达到的铸件尺寸公差等级是不同的。

1）砂型铸造单件、小批生产铸件的尺寸公差等级见表 3-29。

2）成批、大量生产铸件能达到的尺寸公差等级见表 3-30。

表 3-29　小批和单件生产铸件的尺寸公差等级（GB/T 6414—1999）

方法	造型材料	铸件材质							
		铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
		公差等级 CT							
砂型铸造手工造型	粘土砂	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	11 ~ 13	13 ~ 15	13 ~ 15
	化学粘结剂砂	12 ~ 14	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	10 ~ 12	10 ~ 12	12 ~ 14	12 ~ 14

注：1. 本表中的数值一般适用于大于 25mm 的铸件的基本尺寸，对于较小的尺寸，通常能经济实用地保证下列较细的公差：

a. 基本尺寸≤10mm：精 3 级（精 3 级相同于公差等级提高 3 级）；

b. 10mm < 基本尺寸≤16mm：精 2 级（类同）；

c. 16mm < 基本尺寸≤25mm：精 1 级（类同）。

2. 本标准还适用于本表未列出的由铸造厂和采购方之间协议商定的工艺和材料。

表 3-30　成批、大量生产铸件的公差等级（GB/T 6414—1999）

方　法	铸件材质								
	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	锌合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
	公差等级 CT								
砂型铸造手工造型	11～14	11～14	11～14	11～14	10～13	10～13	9～12	11～14	11～14
砂型铸造机器造型和壳型	8～12	8～12	8～12	8～12	8～10	8～10	7～9	8～12	8～12

应当注意，砂型铸造时，对单件、小批生产铸件，不适当地采用过高的工艺要求来提高铸件公差等级，通常是不经济的。在规定铸件尺寸公差时，一定要结合实际，综合思量各种因素，达到既保证铸件质量，又不过多增加生产成本的目的。

铸件尺寸公差等级一经选定，根据铸件基本尺寸，可查表查出相应的公差数值，见表 3-31。

表 3-31　砂型铸造铸件尺寸公差数值（GB/T 6414—1999）

铸件基本尺寸		铸件尺寸公差等级 CT								
		CT7	CT8	CT9	CT10	CT11	CT12	CT13	CT14	CT15
大于	至	铸件尺寸公差数值/mm								
—	10	0.74	1	1.5	2	2.8	4.2	—	—	—
10	16	0.78	1.1	1.6	2.3	3.0	4.4	—	—	—
16	25	0.82	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6	8	10
25	40	0.9	1.3	1.8	2.6	3.6	5	7	9	11
40	63	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	10	12
63	100	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6	9	11	14
100	160	1.2	1.8	2.5	3.6	5	7	10	12	16
160	250	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	14	18
250	400	1.6	2.2	3.2	4.4	6	9	12	16	20
400	630	1.8	2.6	3.6	5	7	10	14	18	22
630	1000	2	2.8	4	6	8	11	16	20	25
1000	1600	2.2	3.2	4.6	7	9	13	18	23	29
1600	2500	2.6	3.8	5.4	8	10	15	21	26	33
2500	4000	—	4.4	6.2	9	12	17	24	30	38
4000	6300	—	—	7	10	14	20	28	35	44
6300	10000	—	—	—	11	16	23	32	40	50

注：公差数值直接标注在铸件基本尺寸后面，如 100±1.2。

3.3.5　铸件重量公差

铸件公称重量包括机械加工余量和其他工艺余量，作为衡量被检查铸件轻重的基准重量。铸件重量公差是以占铸件公称重量的百分比表示的铸件重量变动的允许范围。铸件重量公差等级，是确定铸件重量公差大小程度的级别。国家标准 GB/T11351—1989《铸件重量公差》中规定，铸件重量公差的代号用字母“MT”表示。铸件重量公差等级分为 16 级，用 MT1 ~ MT16 表示。

铸件重量公差等级与铸件尺寸公差等级应对应选取。例如，铸件尺寸公差等级选取 CT10 时，铸件重量公差等级应选 MT10。一般，重量偏差的上偏差和下偏差相同，下偏差也可比上偏差提高两级选用。

单件、小批生产铸件的重量公差等级见表 3-32。成批、大量生产铸件的重量公差等级见表 3-33。铸件重量公差数值见表 3-34。

表 3-32　单件、小批生产铸件的重量公差等级（GB/T 11351—1989）

造型材料	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金
	重量公差等级 MT					
干、湿型砂	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	13 ~ 15	11 ~ 13
自硬砂	12 ~ 14	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	10 ~ 12	10 ~ 12

表 3-33　成批、大量生产铸件的重量公差等级（GB/T 11351—1989）

砂型工艺方案	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	轻金属合金
	重量公差等级 MT					
手工造型	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	10 ~ 12	9 ~ 11
机器造型及壳型	8 ~ 10	8 ~ 10	8 ~ 10	8 ~ 10	8 ~ 10	7 ~ 9

表 3-34　铸件重量公差数值（GB/T 11351—1989）

公称重量/kg		重量公差等级 MT										
大于	至	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	0.4	12	14	16	18	20	24	—	—	—	—	—
0.4	1	10	12	14	16	18	20	24	—	—	—	—
1	4	8	10	12	14	16	18	20	24	—	—	—
4	10	6	8	10	12	14	16	18	20	24	—	—
10	40	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	—
40	100	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
100	400	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
400	1000	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
1000	4000	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
4000	10000	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12	14
10000	40000	—	—	—	2	3	4	5	6	8	10	12

注：表中重量公差数值为其上偏差和下偏差之和，一般情况下，重量偏差的上偏差和下偏差相同。

3.3.6 机械加工余量

在零件的加工表面上预先增加的、待机械加工时予以切除的金属层厚度，称为机械加工余量。要求的机械加工余量代号为“RMA”。要求的机械加工余量有 10 个等级，由粗到精称之为 A、B、C、D、E、F、G、H、J、K。

毛坯铸件典型的机械加工余量等级见表 3-35。要求的铸件机械加工余量见表 3-36。

表 3-35 毛坯铸件典型的机械加工余量等级（GB/T 6414—1999）

工 艺 方 法	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜合金	锌合金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
	要求的机械加工余量等级								
砂型手工造型	G ~ K	F ~ H	F ~ H	F ~ H	F ~ H	F ~ H	F ~ H	G ~ K	G ~ K
砂型机器造型及壳型	E ~ H	E ~ G	E ~ G	E ~ G	E ~ G	E ~ G	E ~ G	F ~ H	F ~ H

表 3-36 要求的铸件机械加工余量（GB/T 6414—1999）

最大尺寸①/mm		要求的机械加工余量等级					
		E	F	G	H	J	K
大于	至	要求的机械加工余量(RMA)/mm					
—	40	0.4	0.5	0.5	0.7	1	1.4
40	63	0.4	0.5	0.7	1	1.4	2
63	100	0.7	1	1.4	2	2.8	4
100	160	1.1	1.5	2.2	3	4	6
160	250	1.4	2	2.8	4	5.5	8
250	400	1.4	2.5	3.5	5	7	10
400	630	2.2	3	4	6	9	12
630	1000	2.5	3.5	5	7	10	14
1000	1600	2.8	4	5.5	8	11	16
1600	2500	3.2	4.5	6	9	14	18
2500	4000	3.5	5	7	10	14	20
4000	6300	4	5.5	8	11	16	22
6300	10000	4.5	6	9	12	17	24

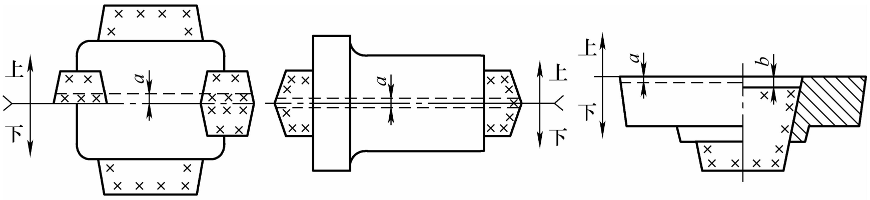
① 最终机械加工后铸件的最大轮廓尺寸。

3.3.7 分型负数

由于修型和烘干过程中砂型变形，上下分型面不可能十分平整，为防止浇注时从分型面跑火，合型前需要在分型面上垫石棉绳（或泥条），这样就增加了型腔高度。为保证铸件尺寸符合图样要求，在模样上必须减去相应的高度，减去的数值称为分型

负数，见表 3-37。

表 3-37　模样的分型负数



a)	b)	c)
模样两半上下不对称 分型负数一般取在上半模	模样两半上下对称 分型负数在上下分模面各取一半	整体模位于下型 分型负数 a 留在下型且小于砂芯间隙 b

砂箱长度/mm	分型负数 a/mm		砂箱长度/mm	分型负数 a/mm	
	干型	表干型		干型	表干型
≤1000	2	1	3501～5000	5	4
1001～2000	3	2	>5000	7	6
2001～3500	4	3	—	—	—
应用	1）当模样两半不对称时，分型负数应在上模样上取（表图 a） 2）当模样上下对称时，分型负数在上下两半模上各取一半（表图 b） 3）主体模样在下型时，分型负数留在下型（表图 c） 4）处在分型面上的型芯间隙 b 大于分型负数 a（表图 c） 5）湿型一般不留分型负数，但砂箱尺寸大于 2m 时，也留分型负数，其值小于表中数值 6）三箱造型时，分型负数留在中箱和下箱上 7）多箱造型时，在每个分型面处都要减去分型负数，且以砂箱高度为依据 8）若铸件的上面全部加工，或机器造型，以及采用水玻璃砂造型，分型面长度 < 1500mm 时，均可不留分型负数 9）分型负数原则上按铸件垂直于分型面的最大高度尺寸确定，一般每 1000mm 减去 1mm					

3.3.8　铸件最小壁厚

不同合金和不同铸件外形尺寸所能铸造的最小壁厚，见表 3-38。

表 3-38　砂型铸造铸件最小壁厚　　（单位：mm）

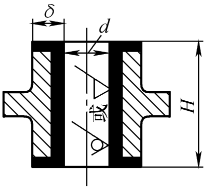
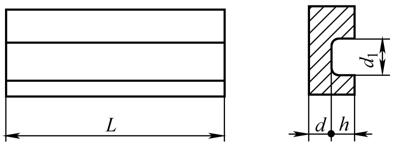
铸件外形尺寸	铸件材质						
	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	镁合金	铜合金
≤200×200	8	≈6	6	5	3	—	3～5
>200×200～500×500	10～12	>6～10	12	8	4	3	6～8
>500×500	15～20	15～20	—	—	6	—	—

3.3.9　铸件最小铸孔和槽

确定零件上的孔和槽是否铸出，既要考虑铸出这些孔或槽的可能性，又要考虑铸出这些孔和槽的必要性和经济性。最小铸出孔和槽的尺寸与铸件的生产批量、合金种类、铸件大小、孔的直径、壁厚和长度有关。

铸钢件最小铸出孔（槽）的尺寸见表3-39。铸铁件不铸出孔的直径见表3-40。

表3-39　铸钢件最小铸出孔（槽）的尺寸　　（单位：mm）

图示	 a) 铸出孔				 b) 铸出槽			
孔深 H	孔壁厚度 δ							
	≤25	26～50	51～75	75～100	101～150	151～200	201～300	>300
	铸孔最小直径 d							
≤100	60	60	70	80	100	120	140	160
101～200	60	70	80	90	120	140	160	190
201～400	80	90	100	110	140	170	190	230
401～600	100	110	120	140	170	200	230	270
601～1000	120	130	150	170	200	230	270	300
>1000	140	160	170	200	230	260	300	330

注：1. 不穿透的圆孔直径应大于表中数值20%。

2. 对矩形或方形的穿透孔，应大于表中数值20%；不穿透孔则应大于表中数值40%。

3. 对铸件上穿透与不穿透的槽，表图b铸出的条件是：$h \approx d_1$，$d_1 = 1.2d$；$L \approx 3d_1$。

4. 槽上放冒口且冒口盖住整条槽时，应将槽铸死。

表3-40　铸铁件不铸出孔的直径　　（单位：mm）

铸 件 壁 厚	<50	50～100	101～200	>200
灰铸铁	30	35	40	另行规定
球墨铸铁	35	40	45	另行规定

3.4　浇注系统

为填充型腔和冒口而开设在铸型中的一系列通道称浇注系统。浇注系统应具备表3-41所列的基本功能。

表 3-41　浇注系统的基本功能与铸件质量

序号	基 本 功 能	对铸件质量的影响
1	引导金属液平稳、连续、均匀地充满型腔，尽量消减紊流	防止气体卷入引起氧化，减轻对型、芯的冲刷
2	造成必要的充型压力头，控制金属液的流动速度和方向	确保铸件外形轮廓、转折棱角清晰
3	在规定时间内使型腔充满，保证型内液面具有足够的上升速度	避免形成夹砂、皱纹、冷隔
4	调节铸型温度，在型腔内造成符合铸件凝回控制要求的温度分布	以利补缩，减少铸造应力，防止铸件变形、裂纹
5	阻挡熔渣、夹杂进入型腔	避免产生渣眼
6	保证铸件质量的前提下，浇注系统要体积小、结构简单	方便制作，便于清除浇冒口，减少金属液消耗

3.4.1　浇注系统的组成和作用

典型的浇注系统由四部分组成：浇口杯（外浇道）、直浇道、横浇道和内浇道，如图 3-6 所示。

1. 浇口杯

（1）浇口杯的主要作用　①承接浇包注入的金属液，便于浇注；②缓和金属液流对型腔的冲击，较平稳地将金属液引入直浇道；③消除由浇道吸动作用产生的水平旋涡，避免熔渣、气体卷入型腔；④增加静压头高度，提高金属液的充型能力。

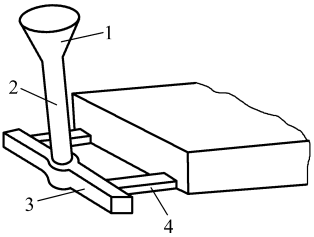
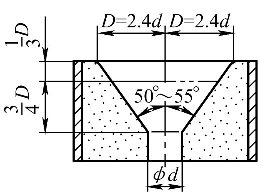
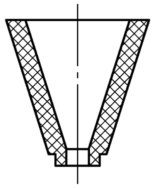


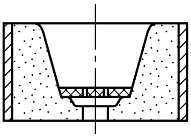
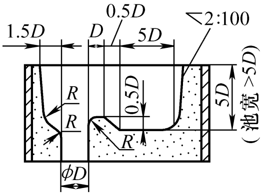
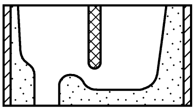
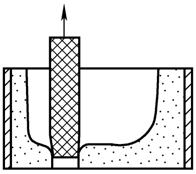
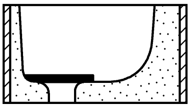
图 3-6　浇注系统结构示意图
1—浇口杯　2—直浇道　3—横浇道　4—内浇道

（2）浇口杯的形式及应用（见表 3-42）

表 3-42　浇口杯的形式及应用

形　式		应　用	图　示
漏斗形浇口杯	普通漏斗形	用特制的干模砂或水玻璃砂捣制而成。结构简单，挡渣作用小 适用于小型铸件，或要求不高的铸件	
	漏斗砖形	用耐火材料烧结而成 适用于大型或重型铸钢件	

（续）

形　　式		应　　用	图　　示
漏斗形浇口杯	滤渣网漏斗形	在漏斗浇口杯内装一个砂制的过滤网，可有效阻挡熔渣和防止卷入气体 多用于机器造型，浇注中小铸铁件	
池形浇口杯	普通池形	用专用型砂捣制而成。容积较大，浇注时金属液面基本维持稳定，有利熔渣上浮，不易进入直浇道 适用中、大型铸铁件	
	闸门式	砂制闸门，具有挡渣作用良好 仅用于要求较高的中、大型铸铁件	
	柱塞式	浇注前用柱塞将直浇道堵严，待金属液注满后，拔起柱塞。可使熔渣上浮，避免浇注初期熔渣进入直浇道。若操作不当柱塞易损坏，将造成冲砂 仅用于要求较高的中、大型铸铁件	
	熔片式	特点与柱塞式相似。浇口杯容量稍大于铸件重量。浇注满后，熔片自行熔化 熔片可用镀锡薄铁片或同牌号铸铁片，用于铸铁件浇注	

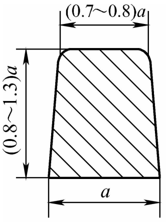
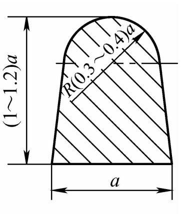
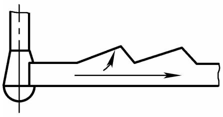
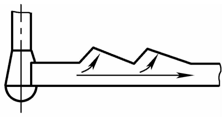
2. 直浇道（见表 3-43）

表 3-43　直浇道的主要作用与应用

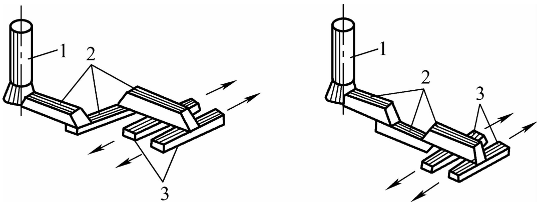
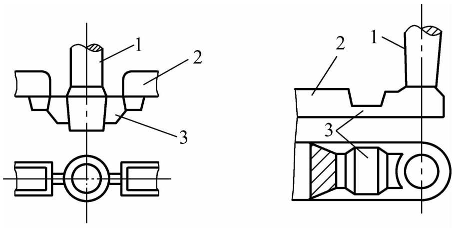
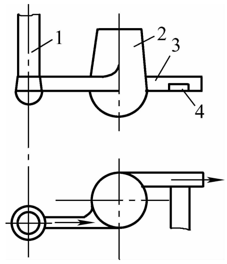
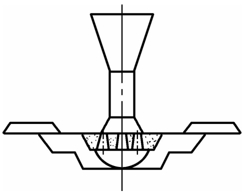
主要作用	1）是浇口杯中金属液送入横浇道的垂直通道 2）直浇道的高低可调节金属液注入型腔的速度和对型腔内金属液的压力。直浇道越高，越容易使型腔中的细薄部分充满
结构特点	1）直浇道是上大下小的圆锥棒，锥度 1∶50 ~ 1∶100，高度高出型腔内铸件最高处 100 ~ 200mm，大件高出 300 ~ 500mm 2）锥形体容易使金属液充满，防止气体卷入，且起模方便
应用	1）中小型铸件一般只用一个直浇道，在直浇道下端设有直浇道窝。大型铸件常用几个直浇道同时浇注，在直浇道下端常垫以耐火砖片，以防冲砂 2）对要求较高的中、大型和重型铸件，直浇道常用耐火砖管制作

3. 横浇道（见表 3-44）

表 3-44　横浇道的主要作用及应用

主要作用	将金属液均匀分配到各个内浇道；挡渣作用	
挡渣条件	1）横浇道应高出内浇道，为内浇道高度的 4 ~ 6 倍 2）浇注时横浇道应充满 3）横浇道应具有一定长度 满足上述条件，才利于金属液流动时熔渣上浮，与横浇道顶面接触，滞留在顶面，不进入型腔	
截面形状	 梯形  圆顶梯形	
挡渣结构形式	图　　示	应　　用
锯齿集渣式	 顺齿  逆齿	中小型铸件的大批量生产

（续）

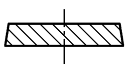
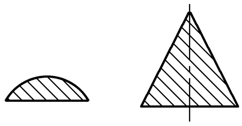
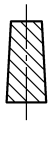
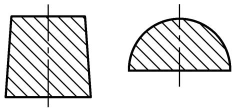
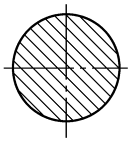
挡渣结构形式	图　示	应　用
稳流式	 1—直浇道　2—横浇道　3—内浇道	复杂中小型铸件的大批量生产
阻流式	 垂直阻流式　水平阻流式 1—直浇道　2—横浇道　3—阻流片	定型产品的大批量生产
离心式集渣	 1—直浇道　2—离心集渣包　3—横浇道　4—内浇道	中小型铸件的生产
带滤渣网		铝合金、铜合金、铸铁等铸件生产

4. 内浇道

内浇道是金属液由横浇道送入型腔的流入口。内浇道确定后，按比例可确定横浇

道和直浇道，因此，内浇道是设计浇注系统的中心。内浇道的特点及应用见表 3-45。

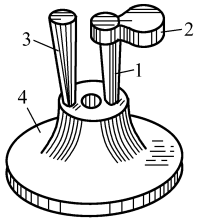
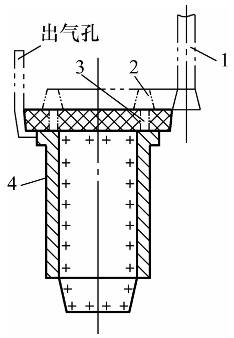
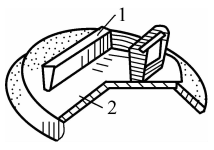
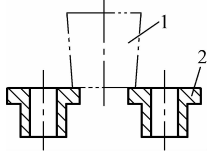
表 3-45　内浇道的特点及应用

主要作用	1）控制金属液流入型腔的速度和方向 2）调节型腔内各部位的温度及铸件凝固顺序	
内浇道的位置	内浇道距直浇道和横浇道末端应有一定的距离，以防熔渣进入 一般第一道内浇道距直浇道的距离大于 3 倍横浇道高度，最后一个内浇道距横浇道末端的距离大于 50mm	
内浇道截面形状	特　　点	简　　图
扁梯形	薄而宽，由于薄，挡渣作用好。广泛用于铸铁件上	
月牙形和三角形	与扁梯形不同的是冷却较快	
长梯形	即深浇道，用于沿垂直充型	
正梯形和半圆形	散热较慢，对铸件有一定的补缩 用于希望通过浇道对铸件补缩的小型铸件	
圆形	在铸铁件上主要用于雨淋式浇口 大、中型铸钢件用流钢砖作内浇道，也是圆形	

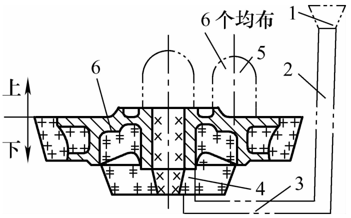
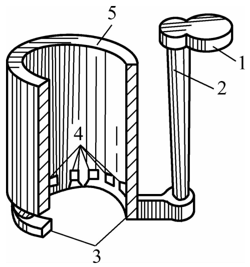
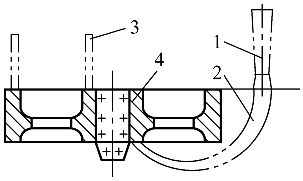
3.4.2　浇注系统的结构形式

根据内浇道在铸件上开设位置的不同，浇注系统的结构形式可分为顶注式、底注式、分型面注入式和阶梯式四种，还有为加强横浇道挡渣作用而出现很多形式的特殊形式浇道，见表 3-46。

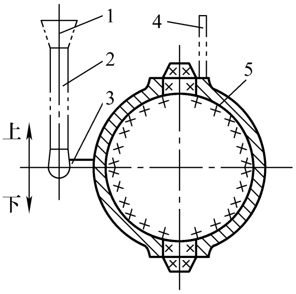
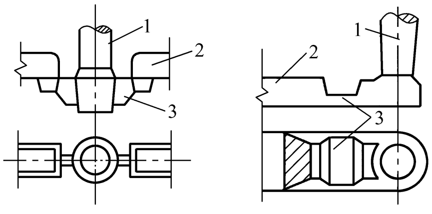
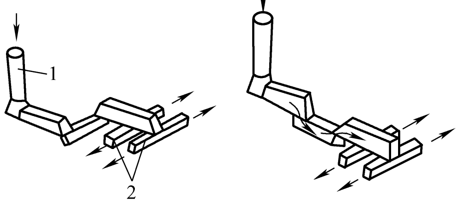
表 3-46　浇注系统结构形式及应用

类型	形式	简　　图	特点及应用
顶注式（上注式）	基本形式	 1—直浇道　2—浇口杯 3—冒口　4—铸件	内浇道设在型腔的顶部 型腔上部比下部温度高，有利于自下而上的定向凝固和补缩。充型能力强 但对砂型的冲击力大，飞溅、氧化，易冲坏砂型和产生气孔、砂眼 适用于形状简单、高度不大于300mm 的中、小型铸件和薄壁铸件；有补缩要求的厚壁铸件
	雨淋式	 1—直浇道　2—横浇道 3—内浇道　4—铸件	金属液从铸件顶部的许多圆形小孔流入型内，挡渣良好，对型腔冲击力小。由于金属液细流下落不断冲击液面，使熔渣不易粘附在侧壁上，有利于提高铸件质量 适用于壁厚均匀及要求较高的圆筒类铸件，如缸套等
	楔形式	 1—楔形浇道　2—铸件	内浇道呈缝隙状，根部窄而长，能迅速充满型腔，好清理 适用于薄壁容器类铸件，如薄壁盆、锅等
	压边式	 1—浇道　2—铸件	金属液通过 3 ~ 6mm 的狭缝流入型腔，具有好的挡渣和补缩作用，结构简单，操作简便，易于清除 主要用于厚实的中、小型铸铁件及非铁合金铸件

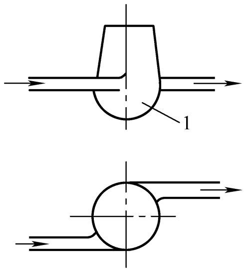
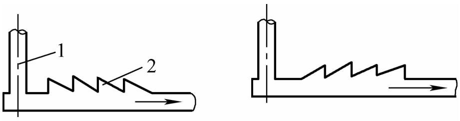
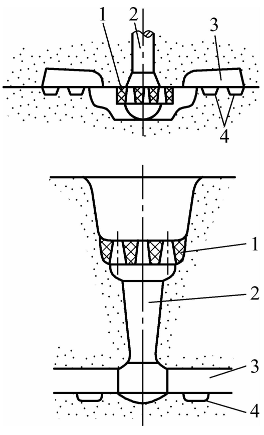
（续）

类型	形式	简　　图	特点及应用
	基本形式	 1—浇口杯　2—直浇道 3—横浇道　4—内浇道 5—冒口　6—铸件	内浇道设在型腔的底部 金属液充型平稳，有利于排气和浮渣，冲击作用小。但不利于补缩，对较高薄壁件易冷隔 适用于大、中型厚壁铸件
底注式（下注式）	底雨淋式	 1—浇口杯　2—直浇道　3—横浇道 4—内浇道　5—铸件	充型均匀平稳，能减少金属液氧化。但造型操作麻烦 适用于要求较高的缸套、形状复杂的筒类铸件、大型床身等铸铁件
	牛角式	 1—直浇道　2—牛角内浇道 3—出气孔　4—铸件	浇注系统中常设有过滤网，使金属液更平稳、更洁净地注入型腔 适用于各种带齿牙轮、有型芯的圆柱形铸件

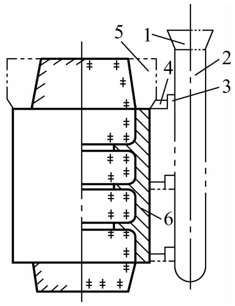
（续）

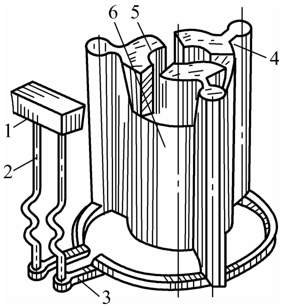
类型	形式	简　　图	特点及应用
分型面 注入式 （中注式）	基本形式	 1—浇口杯　2—直浇道 3—内浇道　4—出气孔 5—铸件	金属液从中间分型面进入型腔，造型操作简单 适用于壁厚较均匀、高度不太大的各类中、小型铸件。生产中广泛应用
	阻流式	 垂直阻流式　水平阻流式 1—直浇道　2—横浇道　3—阻流片	阻流片很窄（4 ~ 7mm），从浇口杯到阻流片这段封闭性很强，有利于挡渣；从阻流片流出的金属液进入宽大的横浇道，流速减慢，有利于渣子上浮，故挡渣性好 垂直阻流式结构复杂，适于机器造型挡渣要求高的中、小铸件 水平阻流式结构简单，适于小批手工造型，但挡渣效果差些
	缓流式 （稳流式）	 1—直浇道　2—内浇道	利用在分型面上、下设置的多级横浇道增加金属液的流动阻力，使之充型平稳 $A_{直} > A_{内}$，能挡渣，若同时使用过滤器，则增强挡渣能力 适用于成批或大量生产的较重要的复杂的中、小铸件

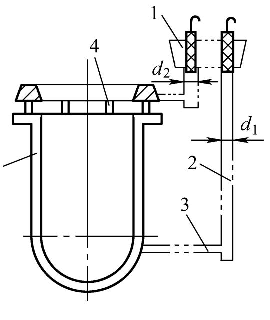
（续）

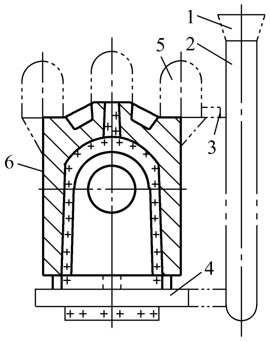
类型	形式	简　　图	特点及应用
	集渣包式	 1—集渣包	金属液切向引入集渣包，在包内旋转运动，离心力作用使熔渣聚集在集渣包中心；液流流出方向与旋转方向相反 入口截面大于出口截面，形成“封闭”条件 集渣包尺寸足够大，可以起到暗冒口补缩作用 适于重要的大、中型铸件，可锻铸铁件和球墨铸铁件应用较多
分型面注入式（中注式）	锯齿式	 逆齿式　顺齿式 1—直浇道　2—锯齿形横浇道	锯齿式分两种：逆齿式、顺齿式。两者的挡渣作用，逆齿式更好些 适用于成批生产中、小铸件
	过滤网式	 1—滤渣网　2—直浇道 3—横浇道　4—内浇道	过滤网由油砂、树脂砂、玻璃纤维或多孔陶瓷等材料制成，一般设置在直浇道上端或下端，也可设在横浇道中，使熔渣留存在浇口杯或黏附在过滤网上面 过滤网应满足“封闭”要求，当过滤网在直浇道顶部时则 $A_{网} = (1.2 \sim 1.3) A_{直}$ 适用于成批生产的中、小铸件

（续）

<table>
<tr><th>类型</th><th>形式</th><th colspan="2">简　　图</th><th>特点及应用</th></tr>
<tr><td rowspan="4">阶梯式</td><td>基本形式</td><td colspan="2">

1—浇口杯　2—直浇道　3—横浇道　4—内浇道
5—冒口　6—铸件</td><td>将内浇道分上、下多层设在铸型型腔上，并自下而上逐步充满型腔
兼有底注和顶注的优点，但选型操作较麻烦
广泛用于结构复杂、高度大于800mm的中、大型铸件上</td></tr>
<tr><td>垂直缝隙式浇口</td><td colspan="2">

1—浇口杯　2—直浇道　3—横浇道
4—缝隙内浇道　5—冒口　6—铸件</td><td>这是阶梯式浇口的特殊形式，充型平稳有利于定向凝固
适用于小型要求较高的铸钢件和有色合金铸件。也适用于一些高度较大的铸铁实体件和垂直分型的铸件</td></tr>
<tr><td rowspan="2">联合式</td><td colspan="2">

底注＋上雨淋
1—浇口杯　2—直浇道　3—底注内浇道雨淋式横浇道　4—雨淋式内浇道　5—铸件
注：$d_2 > d_1$ 先起动 d_1，液面升到一定高度时再起动 d_2</td><td>

底雨淋＋顶注
1—浇口杯　2—直浇道
3—顶注内浇道　4—底雨淋浇道　5—冒口　6—铸件</td></tr>
<tr><td colspan="3">这是阶梯式浇口的特殊形式，兼有顶注和底注的优点，最上层金属液温度最高，造成良好定向凝固。金属液平稳注入型腔，无冲击和飞溅，氧化现象也大为减少，适用于铸件高度较大（>400mm）、要求较高的铸件</td></tr>
</table>

3.4.3　铸钢件的浇注系统尺寸

1. 铸钢件浇注系统的特点

铸钢具有的熔点高、流动性差、收缩大、易氧化的特性。铸钢件浇注系统的特点见表 3-47。

表 3-47　铸钢件浇注系统的特点

钢包类型	转 包 浇 注	塞杆包浇注
浇注系统特点	1）浇道需具有好的挡渣能力。截面比呈封闭式或半封闭式 $\Sigma A_{内}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1:(0.8\sim0.9):(1.1\sim1.2)$ 2）浇道用水玻璃砂组成，或全用面砂舂制，保证具有足够的强度	1）浇道不需要高的挡渣功能。但应确保钢液快速平稳地充满型腔。浇道呈开放式 $\Sigma A_{包}:\Sigma A_{直}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1:(1.8\sim2.0):(1.8\sim2.0):(2.0\sim2.5)$ 2）浇道力求结构简单、坚固、耐冲击。大中型铸钢件应由耐火砖管组成
	对厚实及壁厚差别较大的铸钢件，应呈定向凝固，采用金属液经冒口进入型腔，极力强化冒口的补缩能力。对易产生裂纹、变形的壳体类铸钢件，内浇道应均布于薄壁处，并尽量减少对铸件收缩的阻碍	
应用	适用于大批量生产的小型铸钢件	适用于单件、多品种、小批量的中、大型铸钢件

2. 转包浇注时浇注系统的尺寸

根据浇注钢液重量 G、铸件相对密度 d，可从表 3-48 查得内浇道的总截面积 $\Sigma A_{内}$。

根据单个内浇道截的面积 $A_{内}$，可从表从 3-49 中选择内浇道、横浇道的截面尺寸。提示：内浇道的厚度应小于铸件壁厚 0.7 倍以下，才不致引起在内浇道引入处产生缩孔。

表 3-48　小型铸钢件内浇道的总截面积

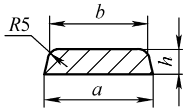
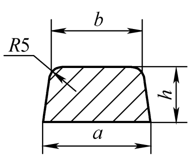
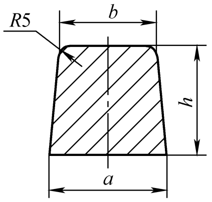
注入钢液总重量 G/kg	铸件相对密度 $d/(g/cm^3)$						
	≤1.0	1.1～2.0	2.1～3.0	3.1～4.0	4.1～5.0	5.1～6.0	>6.0
	$\Sigma A_{内}/cm^2$						
1	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
2	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
4	2.7	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4
6	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8
8	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2
10	4.0	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5
13	5.2	4.8	4.4	4.0	3.5	3.0	2.7

（续）

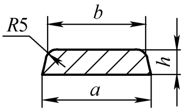
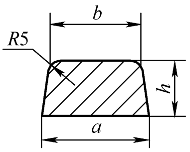
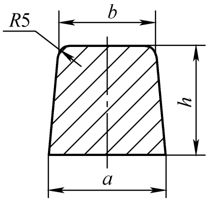
注入钢液总重量 G/kg	铸件相对密度 $d/(g/cm^3)$						
	≤1.0	1.1～2.0	2.1～3.0	3.1～4.0	4.1～5.0	5.1～6.0	>6.0
	$\sum A_{内}/cm^2$						
16	6.3	5.9	5.2	4.6	3.9	3.4	3.0
20	7.5	7.7	6.2	5.4	4.5	4.0	3.4
25	9.1	8.7	7.0	6.1	5.1	4.5	3.8
30	10.2	9.3	7.5	6.7	5.6	5.0	4.2
35	11.7	9.8	8.3	7.2	6.1	5.3	4.5
40	12.5	10.6	8.8	7.7	6.4	5.6	4.8
45	13.4	11.2	9.4	8.9	6.9	5.9	5.1
50	14.2	12.0	9.8	9.0	7.2	6.2	5.3
60	14.8	12.8	10.9	9.4	7.9	6.9	5.9
70	15.6	13.9	11.5	10.2	8.6	7.2	6.4
80	17.6	14.9	12.3	10.9	9.1	7.8	6.9
90	19.4	16.3	13.1	11.5	9.7	8.3	7.3
100	21.2	17.8	13.9	12.1	10.2	8.8	7.7
120	22.6	18.5	15.4	12.4	10.8	9.4	8.2
140	24.4	20.0	16.6	13.2	11.4	10.0	8.8
160	25.5	21	17.7	13.9	12.1	10.5	9.2
180	26.9	22	18.4	14.6	12.6	11.0	9.7
200	29.8	24	20.3	16.3	14.0	112.2	11.4

注：相对密度 $d=\frac{G}{V}$，V 是铸件三个方向的最大尺寸之乘积。

表 3-49　小型铸钢件内浇道、横浇道的截面积尺寸　（单位：mm）

截面积/cm²	 $h\approx 0.2a$			 $h\approx 0.5a$			 $h\approx a$		
	a	b	h	a	b	h	a	b	h
0.6	18	16	3.5	11	9	6	8.5	6.5	8.0
0.8	20	18	4.0	13	11	7	9.5	7.5	9.5
1.0	23	21	4.5	15	12	7.5	11	8.5	10.5
1.2	25	23	5.0	16	13	8.5	12	9	11.5
1.4	27	25	5.5	18	14	9	13	9.5	12.5

（续）

截面积/cm²	$h \approx 0.2a$			$h \approx 0.5a$			$h \approx a$		
	a	b	h	a	b	h	a	b	h
1.6	29	27	6.0	19	15	10	13.5	10.5	13.5
1.8	31	28	6.0	20	16	10	14.5	10.5	14.5
2.0	33	30	6.5	22	18	10	15.5	11	15
2.3	35	33	7	23	19	12	16.5	12.5	16.5
2.6	37	34	7.5	24	20	12	17.5	13	17.5
3.0	40	36	8	26	21	13	19	14	19
3.4	42	39	8.5	28	23	14	20	15	20
3.8	44	42	9.0	29	24	15	21.5	15.5	21
4.2	47	43	9.5	31	26	15	22	16.5	22
4.6	49	45	10	32	27	16	23	17.5	23
5.0	51	47	10	33	28	17	24	18	24
5.5	53	49	10.5	35	30	17	25	18.5	25
6.0	56	52	11	36	31	18	26	20	26
6.5	58	54	11.5	37	32	19	27	21	27
7.0	60	56	12	38	32	20	27.5	22	27.5
7.5	62	58	12.5	40	33	20	29	23	29
8.0	64	60	13	42	35	21	30	24	30
9.0	68	62	14	44	38	22	32	25	32
10	73	65	14.5	46	40	23	34	26	34

3. 塞杆包（底注包）浇注的浇道尺寸

在工厂，在产品稳定情况下，塞杆包包孔直径基本上是不变的（或变动很少）。因此，浇注系统各截面的尺寸多是凭经验按比例选取。只是对一些质量要求高的大型和重型铸件，才作些必要的计算。

包孔尺寸与浇注系统尺寸要匹配，只要知道塞杆包包孔的大小，直接查表 3-50、表 3-51、表 3-52 就可以得到浇注系统各组元的截面积。

表 3-50　根据包孔直径，确定浇注系统各组元的截面积

包孔直径/mm	一个包孔的截面积/cm²	浇注系统各组元的截面积/cm²			
		直浇道	横浇道		内浇道 ≥
			对称	单向	
35	9.6	17.3~19.2	8.7~9.6	17.3~19.2	19.2
40	12.6	22.6~25.2	11.3~12.6	22.6~25.2	25.2

（续）

包孔直径/mm	一个包孔的截面积/cm^2	浇注系统各组元的截面积/cm^2			
		直浇道	横浇道		内浇道 ≥
			对称	单向	
45	15.9	28.6～31.8	14.3～15.9	28.6～31.8	31.8
50	19.6	35.3～39.2	17.7～19.6	35.3～39.2	39.2
55	23.8	42.7～47.6	21.4～23.8	42.7～47.6	47.6
60	28.3	50.0～56.6	25.0～28.3	50.0～56.6	56.6
70	38.5	69.3～77.0	34.7～38.5	69.3～77.0	77
80	50.3	90.5～101.6	45.3～50.8	90.5～101.6	101.6
100	78.5	142.0～157.0	71.0～78.5	142.0～157.0	157

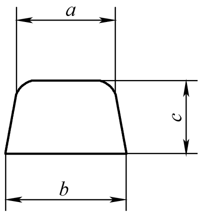
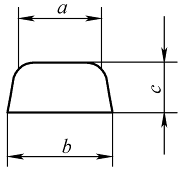
表 3-51　根据包孔直径，确定浇注系统各组元耐火砖管的直径和数量

（单位：mm）

包孔直径 d	直浇道直径 d_1 ≥	横浇道直径 d_2		内浇道直径 d_3 ≥			
		单向 ≥	对称 ≥	40	60	80	100
				每层内浇道数量/个			
35	60	60	40	2	1	—	—
40	60	60	40	2	1	—	—
45	60	60	40	3	1	—	—
50	80	80	60	3	2	1	—
55	80	80	60	4	2	1	—
60	100	100	60	5	2	1	—
70	100	100	80	6	3	2	1
80	120	120	80	8	4	2	1
100	140	140	100	13	6	3	2

表 3-52　根据包孔直径，确定浇注系统各组元的尺寸和数量

（单位：mm）

包孔直径 d	直浇道直径 d_1	横　浇　道						内　浇　道											
																			
		单向			对称			1 个			2 个			3 个			4 个		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
35	60	35	45	45	25	35	30	45	55	40	30	40	30	25	35	25	20	30	20
40	60	45	55	50	30	40	35	55	65	45	35	45	35	30	40	25	25	35	25
45	60	50	60	55	35	45	40	60	70	50	35	45	40	30	40	30	25	35	30
50	80	55	65	65	35	45	45	75	85	50	40	50	45	35	45	35	30	40	30
55	80	65	75	65	40	50	50	90	100	50	45	55	50	30	40	40	30	40	35

注：在生产大、中型铸钢件，采用包孔直径大于 ϕ55mm 者，一般采用耐火砖管浇注系统。多采用耐火砖管做直浇道。钢液浇注系统的耐火砖有：漏斗砖、铸管砖、中心砖、三通流钢砖、二通流钢砖、流钢砖、流钢尾砖、流钢弯砖及钢锭模模底砖等。在造型时组成浇注系统埋入铸型中。

大型铸钢件还可以钢液在型腔内所要求适宜的上升速度为依据，确定浇注系统，此法称“上升速度计算法”，见表 3-53。

表 3-53　钢液上升速度计算法

<table>
<tr><td rowspan="6">依据</td><td rowspan="3">铸件结构</td><td colspan="11">铸件重量 D/t</td></tr>
<tr><td>≤5</td><td colspan="2">5 ~ 15</td><td colspan="2">15 ~ 35</td><td colspan="2">35 ~ 65</td><td colspan="2">65 ~ 100</td><td colspan="2">>100</td></tr>
<tr><td colspan="11">钢液在型腔中的最小允许上升速度 v_1/(mm/s)</td></tr>
<tr><td>复杂</td><td>25</td><td colspan="2">20</td><td colspan="2">16</td><td colspan="2">14</td><td colspan="2">12</td><td colspan="2">10</td></tr>
<tr><td>中等</td><td>20</td><td colspan="2">15</td><td colspan="2">12</td><td colspan="2">10</td><td colspan="2">8</td><td colspan="2">7</td></tr>
<tr><td>简单</td><td>15</td><td colspan="2">10</td><td colspan="2">8</td><td colspan="2">6</td><td colspan="2">5</td><td colspan="2">4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">凭经验，选定包孔直径和数量</td><td colspan="11">不同包孔直径钢液浇注的流量</td></tr>
<tr><td>包孔直径 d/mm</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>45</td><td>50</td><td>55</td><td>60</td><td>70</td><td>80</td><td>100</td></tr>
<tr><td>流量 q/(kg/s)</td><td>10</td><td>20</td><td>27</td><td>42</td><td>55</td><td>72</td><td>90</td><td>120</td><td>150</td><td>195</td></tr>
<tr><td>2</td><td>计算浇注时间 t</td><td colspan="11">$t=\dfrac{G}{nq}$
式中　t——浇注时间(s)
G——铸件重量 + 浇冒口重量(kg)
n——包孔数量
q——钢液流量(kg/s)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td>验算钢液在型腔内的上升速度</td><td colspan="2">$v=\dfrac{H}{t}\geqslant v_1$</td><td colspan="9">式中　v——钢液在型腔内的上升速度(mm/s)
H——铸件在浇注位置的高度(mm)
t——浇注时间(s)</td></tr>
<tr><td>评定</td><td colspan="11">1）对于一般铸件，钢液在型腔内的上升速度 v 大于等于最小允许上升速度 v_1，则所选定的浇包数量和包孔直径与数量是合适的。上升速度 v 小于最小允许上升速度 v_1，则应调整包孔直径与数量，改变 t 值，使之达到所要求的上升速度 v_1
2）对大型铸钢件，其上升速度不应大于 30mm/s</td></tr>
<tr><td>4</td><td>确定浇注系统尺寸</td><td colspan="11">根据所选包孔直径大小，算出包孔总截面积。依此总截面积，按比例确定直浇道、横浇道、内浇道的总截面积，即
$\sum A_{包}:\sum A_{直}:\sum A_{横}:\sum A_{内}=1:(0.8\sim2.0):(0.8\sim2.0):(2.0\sim2.5)$</td></tr>
</table>

3.4.4　铸铁件的浇注系统尺寸

1. 灰铸铁件的浇注系统尺寸

（1）公式法

1）内浇道总截面积计算

$$\sum A_{内} = \frac{G}{0.31\mu t\sqrt{H_p}} \tag{3-1}$$

式中　$\sum A_{内}$——内浇道总截面积（cm^2）；

G——铸件浇注总重量（包括浇冒口在内的金属液重量）（kg）；

t——浇注时间（s）；

μ——流量系数；

H_p——平均压力头高度（cm）。

确定式中的 G、t、μ、H_p 值。方法如下：

①确定浇注总重量 G 值。浇注总重量 G = 浇冒口重量 + 铸件重量。铸件重量可根据图样通过计算获得。浇冒口重量可按表 3-54 的经验数据进行估算。

表 3-54　灰铸铁铸件的浇冒口重量占铸件毛坯重量的百分数　（%）

铸件毛坯重量/kg	单件小批生产	成批生产	大量流水生产	备　注
<100	25 ~ 35	20 ~ 30	20	1）球墨铸铁按 20% ~ 40% 计 2）可锻铸铁按 50% 计
100 ~ 1000	20 ~ 23	15 ~ 20	15 ~ 20	
>1000	10 ~ 20	10 ~ 15	—	

②确定浇注时间 t 并验算。灰铸铁件的浇注时间经验公式见表 3-55。

表 3-55　灰铸铁件浇注时间 t 的经验公式

分类	铸件重量 G/kg	计算公式	经验系数				
小型复杂铸铁件	<450	$t = S\sqrt{G}$	铸件壁厚 δ/mm	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 8.0	8.0 ~ 15	
			S	1.63	1.85	2.2	
中、大型铸铁件	<10000	$t = S_1\sqrt[3]{\delta G}$	S_1 = 1.7 ~ 2，快浇时，取 1.7 ~ 1.9，一般取 2 δ——铸件平均壁厚（mm）				
重型铸铁件	>10000	$t = S_2\sqrt{G}$	铸件壁厚 δ/mm	<10	10 ~ 20	20 ~ 40	>40 ~ 80
			S_2	1.1	1.4	1.7	1.9

对大型铸件和结构复杂薄壁铸件，浇注时间确定后，需验算型腔内金属液面的上升速度，以确定 t 是否合理。型内金属液面的上升速度用下式计算：

$$v_{升} = \frac{h}{t} \tag{3-2}$$

式中　h——铸件浇注位置的高度（mm）；

t——浇注时间（s）；

$v_{升}$——型内液面的上升速度（mm/s），$v_{升}$ 值应大于表 3-56 中所列的参考值。

表 3-56　灰铸铁件允许的最小液面上升速度

铸件壁厚 δ/mm	<4	4 ~ 10	10 ~ 40	>40
v/(mm/s)	30 ~ 100	20 ~ 30	10 ~ 20	8 ~ 10

注：如 $v_{升}$ 小于表中最小上升速度，则应修正，修正的方法是适当调整浇注时间；或变换铸件浇注位置，使金属液面上升速度达到要求。

③确定流量系数 μ。流量系数 μ 值一般按表 3-57 选取，并按表 3-58 修正。

表 3-57　铸铁流量系数 μ 值

铸 型 种 类	铸 型 阻 力		
	大	中	小
	μ 值		
湿型	0.35	0.42	0.50
干型	0.41	0.48	0.60

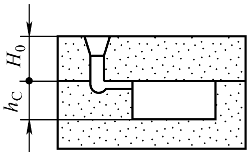
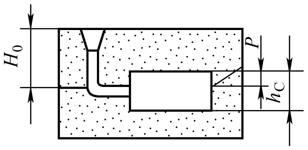
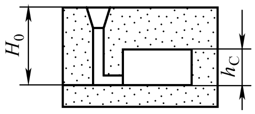
表 3-58　流量系数 μ 值的修正值

影响 μ 值的因素		μ 值的修正值
浇注温度升高使 μ 值增大，从 1280℃起，浇注温度每提高 50℃		<0.05
有出气孔和明冒口，减小了型腔内的气体压力，使 μ 值增大。当 $\frac{\sum A_{出气孔}+\sum A_{明冒口}}{\sum A_{内}}=1\sim1.5$ 时		0.05 ~ 0.20
直浇道和横浇道的断面积比内浇道大的多时，可减小阻力损失，并缩短封闭前的时间，使 μ 值增大。当 $\frac{A_{直}}{A_{内}}>1.6$，$\frac{A_{横}}{A_{内}}>1.3$ 时		0.05 ~ 0.20
浇注系统的狭小断面之后，其断面有较大的扩大时，阻力减小，μ 值增加		0.05 ~ 0.20
内浇道总断面积相同而数量增多时，阻力增大，μ 值减小	两个内浇道时	-0.05
	四个内浇道时	-0.10
型砂透气性差，且无出气孔和明冒口时 μ 值减小		< -0.05
顶注式（相对于中间注入式）能使 μ 值增大		0.10 ~ 0.20
底注式（相对于中间注入式）能使 μ 值减小		-0.10 ~ 0.20

注：封闭式浇注系统中 μ 值的最大值为 0.75，如计算结果大于此值仍取 $\mu=0.75$。

④确定平均压力头高度 H_p 并校核最小剩余压力头 H_M。平均压力头高度计算公式见表 3-59。

表 3-59　平均压力头高度 H_p 计算公式

	顶　注　式	中　注　式	底　注　式
浇注形式			
内浇道以上的铸件高度 P	$P=0$	$P=\frac{h_C}{2}$	$P=h_C$
平均静压头高度 H_p	$H_p=H_0$	$H_p=H_0-\frac{h_c}{8}$	$H_p=H_0-\frac{h_C}{2}$

为保证金属液能充满铸件上距直浇道最远、最高的部位，铸件最高点离浇口杯液面必须有一最小 H_M（称剩余压力头，$H_M=H_0-h_C$）。当铸件尺寸较大，壁厚较薄，金属液流程较远时，需用压力角验算 H_M 是否满足要求。验算公式如下：

$$H_M \geqslant L\tan\alpha \tag{3-3}$$

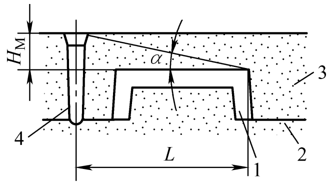
式中　H_M——剩余压力头；

L——铸件最高、最远点至直浇道中心线的水平距离（mm）；

α——压力角（°），见表 3-60。

表 3-60　压力角 α 的最小值

图示



1—铸件　2—下型　3—上型　4—直浇道　α—压力角　H_M—剩余压力头

L/mm	铸件壁厚/mm							适用范围
	3~5	5~8	8~15	15~20	20~25	25~35	35~45	
	压力角 α/(°)							
4000	根据具体情况确定	6~7	5~6	5~6	5~6	4~5	4~5	用两个或更多的直浇道浇注
3500		6~7	5~6	5~6	5~6	4~5	4~5	
3000		6~7	6~7	5~6	5~6	4~5	4~5	
2800		6~7	6~7	6~7	6~7	5~6	4~5	
2600		7~8	6~7	6~7	6~7	5~6	4~5	
2400		7~8	6~7	6~7	6~7	5~6	5~6	
2200		8~9	7~8	6~7	6~7	5~6	5~6	

（续）

L/mm	铸件壁厚/mm							适用范围
	3 ~ 5	5 ~ 8	8 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 35	35 ~ 45	
	压力角 α/(°)							
2000	根据具体情况确定	8 ~ 9	7 ~ 8	6 ~ 7	6 ~ 7	5 ~ 6	6 ~ 7	用一个直浇道浇注
1800		8 ~ 9	7 ~ 8	7 ~ 8	7 ~ 8	6 ~ 7	6 ~ 7	
1600		8 ~ 9	7 ~ 8	7 ~ 8	7 ~ 8	6 ~ 7	6 ~ 7	
1400		8 ~ 9	8 ~ 9	7 ~ 8	7 ~ 8	6 ~ 7	6 ~ 7	
1200	10 ~ 11	9 ~ 10	8 ~ 9	7 ~ 8	7 ~ 8	6 ~ 7	6 ~ 7	
1000	11 ~ 12	9 ~ 10	9 ~ 10	7 ~ 8	7 ~ 8	6 ~ 7	6 ~ 7	
800	12 ~ 13	9 ~ 10	9 ~ 10	8 ~ 9	7 ~ 8	7 ~ 8	6 ~ 7	
600	13 ~ 14	9 ~ 10	9 ~ 10	9 ~ 10	8 ~ 9	7 ~ 8	6 ~ 7	

2）确定浇注系统各组元的比例。内浇道总截面积确定后，选择浇注系统各组元截面积的比例关系，灰铸铁件浇注系统各组元比例见表 3-61。

表 3-61　灰铸铁件浇注系统各组元截面积的比例（经验数据）

类型	截面积比			特　点	应　用
	$\Sigma A_{内}$	$\Sigma A_{横}$	$\Sigma A_{直}$		
封闭式	1	1.5	2	$\Sigma A_{内} < \Sigma A_{横} < \Sigma A_{直}$ 浇注时，很快充满全部浇道，挡渣作用较好。但冲刷力大。广泛用于小件和干型中大型铸铁件	大型灰铸铁件
	1	1.2	1.4		大、中型灰铸铁件
	1	1.1	1.15		中、小灰铸铁件
	1	1.06	1.11		薄壁、小型灰铸铁件
半封闭式	1	1.3 ~ 1.5	1.1 ~ 1.2	$\Sigma A_{内} < \Sigma A_{横} < \Sigma A_{直}$ 浇注开始时，横浇道不充满，稍后才呈充满状态。既可减少金属液对砂型的冲击力，又有一定的当渣作用 适用于大、中、小铸铁件	中、小型铸铁件（表干型）
	1	1.4	1.2		重型机械铸铁件（表干型）
	1	1.1 ~ 1.5	1.2 ~ 1.25		中、小型铸铁件（干型）

3）确定横浇道和直浇道的截面尺寸。根据内浇道总截面积和选定的各组元截面积的比例关系，依次计算出横浇道和直浇道的截面积。

4）灰铸铁件浇注系统各组元的截面形状和几何尺寸。根据灰铸铁件各组元的截面积，即可结合铸件的结构特点，选择各组元的数量、截面形状、截面几何尺寸。灰铸铁件内浇道、横浇道和直浇道、浇口盆、浇口杯的结构尺寸分别见表 3-62 ~ 表 3-65。

表 3-62　内浇道的截面尺寸　（单位：mm）

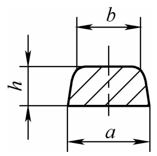
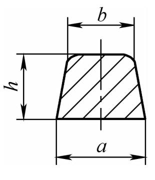
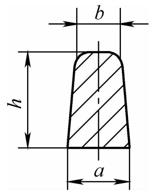
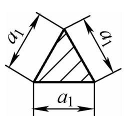
序号	截面积 $A_{内}/cm^2$										
		a	b	h	a	b	h	a	b	h	a_1
1	0.3	11	9	3	6	4	6	4	3	9	8.5
2	0.4	11	9	4	7	5	7	5	3	10	9.5
3	0.5	11	9	5	8	6	7	6	4	10	10.5
4	0.6	11	9	6	8.5	6.5	8	6.5	4.5	11	12
5	0.8	14	12	6	10	8	9	8	5	121	13.5
6	1.0	15	13	7	11	9	10	9	5	14	15
7	1.2	18	14	7.5	12	10	11	10	6	15	16.5
8	1.5	20	18	8	14	11	12	11	7	17	18.5
9	1.8	21	19	9	16	12	13	12	8	18	20.5
10	2.2	23	21	10	17	13	15	13	9	20	23
11	2.6	25	22	11	17.5	13.5	17	13	9	24	24.5
12	3.0	28	24	12	18	14	19	14	10	26	26
13	3.4	32	25	121	19	15	20	15	10	28	28
14	4.0	38	30	12	21	15	22	16	10	30	30.5
15	4.5	40	36	12	22	16	24	17	11	32	32.5
16	5.0	42	38	12.5	23	17	25	18	11	34	34
17	5.4	44	40	13	24	18	25.5	19	121	35	35
18	6.0	45	41	14	25	21	26	20	12	37	37
19	9.0	56	50	17	30	23	34	24	16	45	45.5
20	12	58	52	22	37	28	36	28	20	50	50

表 3-63　横浇道和直浇道的截面尺寸　　（单位：mm）

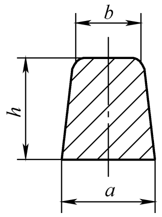
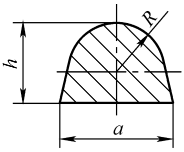
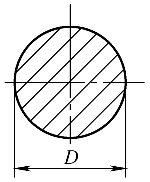
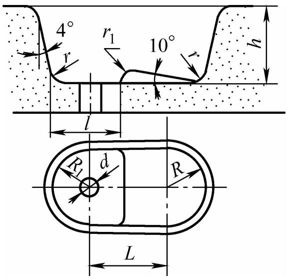
横浇道								直浇道		
序号	截面积 $A_{内}/cm^2$							序号	截面积 $A_{内}/cm^2$	
		a	*b*	*h*	*a*	*h*	*R*			*D*
1	1	11	9	10	18	10	6	1	1.8	15
2	2	15	10	16	20	13	8	2	3.1	20
3	2.4	16	11	18	22	14	10	3	4.9	25
4	3	17	13	20	24	15	11	4	7.1	30
5	3.6	19	14	22	28	17	12	5	9.6	35
6	4	20	15	23	30	18	13	6	12.6	40
7	5	24	16	25	35	20	15	7	15.9	45
8	6	27	17	28	36	22	16	8	19.6	50
9	7	28	18	30	38	24	17	9	23.7	55
10	8	30	20	32	40	26	18	10	28.2	60
11	9	32	22	34	42	28	19	11	33.2	65
12	11	36	24	37	45	30	21	12	38	70
13	13	38	27	40	52	32	24	13	44	75
14	13.8	38	28	42	55	33	25	14	50.3	80
15	17	44	30	46	60	36	28	15	56.7	85
16	19.5	46	32	50	65	39	30	16	63.7	90
17	24	52	36	54	72	43	33	17	71	95
18	28	56	40	58	78	46	36	18	78.5	100
19	34	60	44	66	86	51	40	19	86.5	105
20	38.5	65	45	70	90	54	43	20	95.2	110
21	48	65	55	80	102	60	48	21	104	115
22	56	75	65	80	110	65	52	22	113	120
23	66.5	75	65	95	120	70	57	23	—	—
24	70	75	65	100	124	72	59	24	—	—
25	80	85	75	100	130	78	62	25	—	—
26	96	85	75	120	145	84	69	26	—	—
27	100	85	75	125	146	86	70	27	—	—
28	140	105	95	140	176	101	84	28	—	—
29	157.5	110	100	150	185	108	88	29	—	—
30	188	125	110	160	200	118	96	30	—	—

表 3-64　浇口盆的尺寸

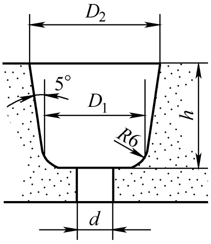
简　图



序号	铸件重量 /kg	浇口盆容量 /kg	浇口盆尺寸/mm							
			L	R	R_1	r	r_1	h	l	d
1	50～100	30	110	70	40	25	13	110	78	27
2	100～200	50	140	83	47	31	15	130	96	32
3	200～300	80	160	90	56	35	17	150	110	38
4	300～600	170	210	125	70	50	22	200	145	45
5	600～1000	260	260	150	105	60	25	240	170	53
6	1000～2000	368	290	170	110	70	30	250	190	65

表 3-65　浇口杯的尺寸　　（单位：mm）

简　图



序号	直浇道下部直径 d	D_1	D_2	h	铁液量/kg
1	<16	56	52	40	0.5
2	16～18	58	54	42	0.6
3	18～20	60	56	44	0.7
4	20～22	62	58	46	0.8
5	22～24	64	60	48	0.9
6	24～26	66	62	50	1.0
7	26～28	68	64	52	1.2
8	28～30	70	66	54	1.3

5）生产验证。计算出来的浇注系统尺寸应注意生产验证。经生产验证若不合理，应进行修正和完善，使其为符合生产实际的浇注系统。

（2）查表法　根据灰铸铁件的重量和壁厚，查表确定内浇道的总截面积 $\Sigma A_{内}$。然后，根据直浇道、横浇道、内浇道的比例关系，计算各组元的截面积。

1）中、小型灰铸铁件的内浇道总截面积见表 3-66。

表 3-66　中、小型灰铸铁件的内浇道总截面积 $\Sigma A_{内}$（参考值）

铸件重量 G/kg	铸件壁厚/mm				
	≤5	>5 ~ 10	>10 ~ 15	>15 ~ 25	>25 ~ 40
	内浇道截面积/cm²				
≤1	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4
>1 ~ 3	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6
>3 ~ 5	1.6	1.6	1.2	1.2	1.0
>5 ~ 10	2.0	1.8	1.6	1.6	1.2
>10 ~ 15	2.6	2.4	2.0	2.0	1.8
>12 ~ 20	4.0	3.6	3.2	3.0	2.8
>20 ~ 40	5.0	4.4	4.0	3.6	3.2
>40 ~ 60	7.2	6.8	6.4	5.2	4.2
>60 ~ 100	—	8.0	7.4	6.2	6.0
>100 ~ 150	—	12.0	10.0	8.6	7.6
>150 ~ 200	—	15.0	12.0	10.0	9.0
>200 ~ 250	—	—	14.0	11.0	9.4
>250 ~ 300	—	—	15.0	12.0	10.0
>300 ~ 400	—	—	15.4	13.0	12.0
>400 ~ 500	—	—	16.0	14.0	13.0
>500 ~ 600	—	—	18.0	15.0	14.0
>600 ~ 700	—	—	20.0	17.0	15.0
>700 ~ 800	—	—	24.0	20.0	19.0
>800 ~ 900	—	—	26.0	22.0	19.0
>900 ~ 1000	—	—	28.0	24.0	21.0

2）机床类铸铁件的内浇道总截面积见表 3-67。

表 3-67　机床类铸铁件的内浇道总截面积 $\Sigma A_{内}$（参考值）

铸件重量 G/kg	铸件壁厚/mm				
	≤5	>5 ~ 10	>10 ~ 15	>15 ~ 25	>25 ~ 40
	内浇道截面积/cm²				
≤2	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6
>2 ~ 5	1.6	1.6	1.2	1.0	0.8
>5 ~ 10	1.8	1.8	1.6	1.4	1.2

（续）

铸件重量 G/kg	铸件壁厚/mm				
	≤5	>5～10	>10～15	>15～25	>25～40
	内浇道截面积/cm^2				
11～20	3.2	3.0	2.6	2.2	2.0
21～40	5.0	4.6	4.0	3.4	3.0
41～60	6.0	5.4	4.6	4.0	3.6
61～100	—	7.5	6.5	5.5	5.0
101～150	—	8.0	7.0	6.4	6.0
151～200	—	10.0	9.0	8.0	7.0
201～300	—	—	13.0	11.0	9.0
301～400	—	—	14.0	12.0	10.0
401～500	—	—	16.0	14.0	12.0
501～600	—	—	16.0	14.0	12.0
601～700	—	—	19.0	17.0	15.0
701～800	—	—	21.0	18.0	16.0
801～1000	—	—	23.0	19.0	17.0
1001～1500	—	—	—	24.0	22.0
1501～2000		—	—	27.0	25.0
2001～4000	—	—	—	37.0	34.0
4001～7000	—	—	—	45.0	40.0
7001～10000	—	—	—	60.0	50.0

注：1. 机床类铸件，是箱体结构，体壁复杂。

2. 常用浇道比例为：$\Sigma A_{直}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1.2:1.5:1$。

3）内燃机类铸铁件的内浇道总截面积见表3-68。

表3-68　内燃机类铸铁件的内浇道截面积 $\Sigma A_{内}$（参考值）

铸件重量 G/kg	铸件壁厚/mm					
	≤5	>5～10	>10～15	>15～25	>25～40	>40
	内浇道截面积/cm^2					
≤5	2	1.5	1.2	1.0	0.8	0.5
>5～10	3	2.5	2.0	1.5	1.0	0.8
>10～20	4	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
>20～40	5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
>40～60	8	7	6	5	4	3.5
>60～100	—	8	7	6	5	4

（续）

铸件重量 G/kg	铸件壁厚/mm					
	≤5	>5～10	>10～15	>15～25	>25～40	>40
	内浇道截面积/cm^2					
>100～150	—	12	10	8	6	5
>150～200	—	15	12	10	8	6
>200～300	—	20	15	12	10	8
>300～500	—	25	20	15	12	10
>500～700	—	30	25	20	15	12
>700～1000	—	40	30	25	20	15
>1000～1500	—	—	40	30	25	20
>1500～2000	—	—	50	40	30	25
>2000～3000	—	—	60	50	40	30

注：1. 内燃机类铸件的结构基本上是均匀薄壁箱体、套管、罩壳类铸件。

2. 对于重量小于 100kg 的铸件，浇道比常采用：$\Sigma A_{直}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1:1.5:(0.5\sim0.8)$。

3. 对于重量大于 1000kg 的铸件，浇道比常采用：$\Sigma A_{直}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1:2:(1\sim3)$。

4）纺织机械类铸铁件的内浇道总截面积见表 3-69。

表 3-69　纺织机械类铸铁件的内浇道截面积 $\Sigma A_{内}$（参考值）

铸件重量 /kg	铸件壁厚/mm							
	≤3	>3～5	>5～8	>8～12	>12～16	>16～20	>20～35	>35～50
	内浇道截面积/cm^2							
≤0.2	0.4	0.3～0.4	0.3～0.4	0.3～0.4				
>0.2～0.5	0.4～0.7	0.4～0.7	0.4～0.7	0.4～0.7	0.4～0.6			
>0.5～1	0.7～1	0.7～1	0.6～0.9	0.5～0.8	0.4～0.7	0.4～0.7		
>1～1.5	1～2	1～1.5	0.8～1.2	0.7～1	0.7～1	0.7～1		
>1.5～2	2～3	1.5～2	1～1.8	0.8～1.8	0.8～1.5	0.8～1.2	0.6～1.2	
>2～3	3～4	2～3	1.5～2.5	1.5～2	1～1.5	1～1.5	0.8～1.5	0.6～1
>3～4		3～4	2.5～3.5	2～3	1.5～2.5	1.5～2.5	1～2	0.8～1.5
>4～5		4～5	3～4	3～4	2～3.5	2～3.5	1～2	1～2
>5～7			3～4	3～4	2～3.5	2～3.5	1～2	1～2
>7～10			3.5～4.5	3.5～4.5	3～4.5	2～3.5	1.2～2	1.2～2
>10～15			3.5～4.5	3.5～4.5	4～5	2～3.5	1.2～2	
>15～20				4～6	4～5	2～3.5	1.2～2	
>20～30				7～10 (12～14)	4.5～6	2～3.5	1.5～2.5	

（续）

铸件重量/kg	铸件壁厚/mm							
	≤3	>3~5	>5~8	>8~12	>12~16	>16~20	>20~35	>35~50
	内浇道截面积/cm^2							
>30~45				8~12（12~14）	5.5~7	2.5~4	2~3	
>45~60				10~14	6.5~8	4.5~8	4~8	
>60~80				10~14	9~10	7~10	7~10	
>80~100				12~15	12~15	10~14	10~14	
>100~150				12~15	12~15	10~14	10~14	
>150~200				（25~35）				

注：1. 括号内的数据为特殊复杂件的参考数据。

2. 常用浇道比为：$\Sigma A_{直}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1.3:1.15:1$。

5）重型及通用机械类铸铁件的内浇道总截面积见表3-70。

表3-70　重型及通用机械类铸铁件的内浇道截面积 $\Sigma A_{内}$（参考值）

铸件重量/kg	铸件壁厚/mm					
	5~10	>10~15	>15~25	>25~40	>40~60	>60~100
	内浇道截面积/cm^2					
≤5	2.5	2.2	2	1.8	—	—
>5~10	3	2.7	2.4	2.2	—	—
>10~20	3.7	3.4	3.2	2.7	—	—
>20~50	5.5	5	4.5	4	—	—
>50~100	7.5	7	6.5	6	—	—
>100~150	9	8.5	8	7.5	6	—
>150~200	11	10	9	8	7.5	—
>200~300	13	12	11	10	8	—
>300~400	14	13	12	10	9	—
>400~500	16	14	13	11	10	—
>500~600	—	18	16	14	12	10
>600~700	—	20	18	16	14	11
>700~800	—	22	20	18	16	13
>800~900	—	24	22	19	17	15
>900~1000	—	26	24	21	19	17
>1000~1500	—	28	26	23	20	18
>1500~2000	—	31	28	26	24	21

（续）

铸件重量/kg	铸件壁厚/mm					
	5 ~ 10	>10 ~ 15	>15 ~ 25	>25 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100
	内浇道截面积/cm²					
>2000 ~ 3000	—	—	34	30	26	24
>3000 ~ 4000	—	—	37	32	30	27
>4000 ~ 5000	—	—	38	33	32	29
>5000 ~ 6000	—	—	42	36	34	32
>6000 ~ 8000	—	—	46	42	40	36
>8000 ~ 10000	—	—	50	47	44	40
>10000 ~ 15000	—	—	57	54	51	49
>15000 ~ 20000	—	—	67	63	59	56
>20000 ~ 30000	—	—	83	79	74	70
>30000 ~ 40000	—	—	—	93	87	81

注：此类铸件结构简单，壁较厚。常用浇道比为：$\Sigma A_{直}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1.2:1.4:1$。

2. 球墨铸铁件浇注系统的尺寸

（1）球墨铸铁件浇注系统的特点

1）铁液经过球化、孕育处理后温度下降很多，要求大流量输送铁液，快速浇注，所以内浇道的总截面积应比灰铸铁的大 30% ~ 100%。

2）球墨铸铁易氧化，为防止产生二次氧化渣，要求充填型腔时要平稳、通畅。多采用半封闭或开放式浇注系统。

3）球墨铸铁收缩大，具有糊状凝固特性，形成缩孔、缩松倾向大，缩孔体积比灰铸铁大两倍以上，所以，按定向凝固原则与冒口配合设置浇注系统。当内浇道通过冒口时，可采用封闭式浇注系统。

（2）球墨铸铁件内浇道的截面面积（cm²）公式

$$\Sigma A_{内}=\frac{G}{0.31\mu t\sqrt{H_p}}$$

式中　G——浇注总重量（kg），可取铸件重量的 1.2 ~ 1.4 倍；

μ——流量系数，湿型铸造中、小球墨铸铁件取 $\mu=0.35\sim0.5$；

t——浇注时间，可按下式求出：$t=(2.5\sim3.5)\sqrt[3]{G}$；

H_p——平均静压力头高度，计算方法见表 3-59。

（3）球墨铸铁件浇注系统各组元的截面积比例

一般球墨铸铁件采用封闭式：$\Sigma A_{内}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{直}=1:(1.2\sim1.3):(1.4\sim1.9)$

厚壁球墨铸铁件采用开放式：$\Sigma A_{内}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{直}=(1.5\sim4):(2\sim4):1$

或　$\Sigma A_{内}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{直}=(1.2\sim2):(1.2\sim2):1$

薄壁小型球墨铸铁件采用半封闭式：$\Sigma A_{内}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{直}=0.8:(1.2\sim1.5):1$

或　$\Sigma A_{内}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{直}=3:8:4$

3. 可锻铸铁件浇注系统的尺寸

（1）可锻铸铁件浇注系统的特点及典型形式

1）特点

①可锻铸铁件一般是薄壁、受力较大的中、小件，碳硅含量低，铁液流动性差，故其浇道尺寸比灰铸铁的大。

②铁液收缩大、氧化性强，易产生缩孔、缩松、裂纹等铸造缺陷，故浇冒口按顺序凝固原则设置，浇注系统挡渣能力要强。

2）加强挡渣的浇注系统典型形式，如图3-7所示。

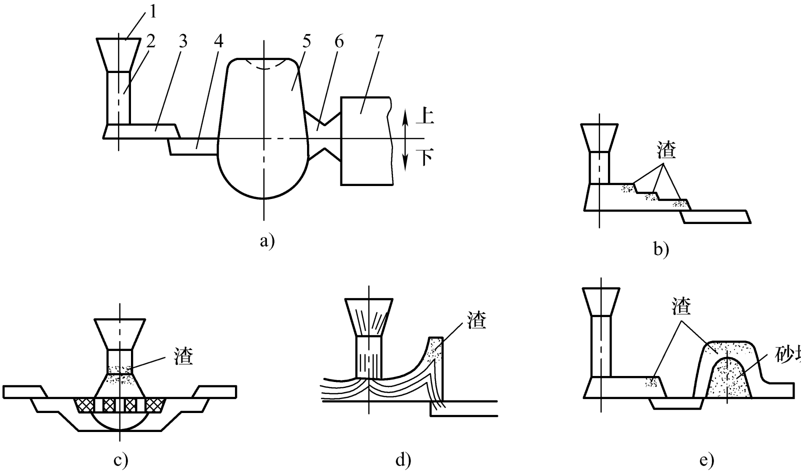


图3-7 可锻铸铁件的浇注系统形式

a）基本形式 b）阶梯式阻渣浇道 c）过滤网式阻渣浇道 d）羊角阻渣式浇道 e）闸门式阻渣浇道

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道 5—暗冒口 6—冒口颈 7—铸件

（2）可锻铸铁件浇注系统的各组元尺寸（见表3-71、表3-72）

表3-71 可锻铸铁件内浇道的截面面积 $\Sigma A_{内}$（参考值）

铸件重量/kg	铸件壁厚/mm			
	3～5	5～8	8～12	12～20
	内浇道总截面面积 $\Sigma A_{内}/cm^2$			
0.3～0.5	1.5	1	1	1
>0.5～0.7	2	1.5	1.5	1
>0.7～1	—	1.5	1.5	1.5
>1～1.5	—	2	1.5	1.5
>1.5～2	—	2	2	2
>2～3	—	2.5	2	2

（续）

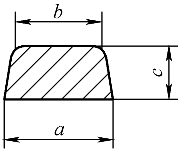
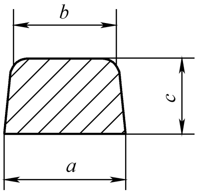
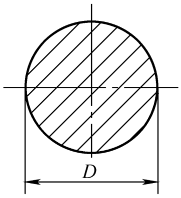
铸件重量/kg	铸件壁厚/mm			
	3 ~ 5	5 ~ 8	8 ~ 12	12 ~ 20
	内浇道总截面面积 $\Sigma A_{内}/cm^2$			
>3 ~ 5	—	3	2.5	2.5
>5 ~ 10	—	3	3	3
>10 ~ 30	—	4	4	4
>30 ~ 50	—	—	5	5

注：1. 当 1 个内浇道同时供给 2 个或 2 个以上铸件时，$A_{内}$ 按 2 个或 2 个以上铸件总重量查得。

2. 内浇道长度如达 200 ~ 300mm 时，则 $A_{内}$ 加大 1/3 左右。

3. 直浇道高度如达 120 ~ 200mm 时，则 $A_{内}$ 可减少 1/3 左右。

表 3-72　可锻铸铁件直浇道、横浇道、内浇道的参考尺寸（单位：mm）

浇注系统	内浇道				横浇道				直浇道	
										
序号	*a*	*b*	*c*	截面积/cm^2	*a*	*b*	*c*	截面积/cm^2	*D*	截面积/cm^2
1	13	11	8	1	16	12	18	2.5	18	2.5
2	16	13	10	1.5	19	15	18	3	21	3.5
3	18	15	12	2	22	18	18	3.6	24	4.5
4	20	16	14	2.5	22	16	22	4.2	27	5.7
5	22	18	15	3	26	20	22	5	30	7

注：1. 当 $\Sigma A_{内} > 3cm^2$ 时，内浇道应不止一个。

2. 取 $A_{直}:A_{横}:A_{内} = (2 \sim 2.5):(1.5 \sim 2.5):1$。

3. 一般横浇道置于上箱，内浇道置于下箱，并且内浇道应带有圆角。

4. 压边浇口

压边浇口一般浇口截面尺寸较大（$\phi 50 \sim \phi 100$mm），如同冒口。与铸件只有一条窄的缝隙相连。

（1）使用范围　适用于简单而厚实的灰铸铁件、300kg 以下的球墨铸铁件、可锻铸铁件、尺寸不大结构简单的小型非铁合金铸件。通常应用于浇注系统作冒口的场合。

（2）压边宽度　压边宽度取决于合金种类、浇注温度、铸件重量和截面厚度等。

1）一般牌号的铸铁件采用封闭式压边浇口（压边处为最小截面），压边宽度为 3 ~ 7mm。

2）收缩较大的高牌号铸铁件采用开放式压边浇口（横浇道为最小截面），压边

宽度为 8～15mm。

3）300kg 以下的球墨铸铁件压边宽度：小件 3～6mm，中件 5～10mm。

（3）压边长度

1）圆盘形铸件的压边长度为周长的 1/6。

2）方形中、小件的压边长度为边长的 1/2。

（4）压边部位　压边部位一般位于铸件顶部的非重要加工面上，缝隙周围的砂型应充分紧实，也可采用砂芯，以保证棱角清晰。

（5）压边缝隙面积的经验公式

$$A_{最小} = m\sqrt{G}$$

式中　$A_{最小}$——压边缝隙面积（cm^2）；

G——铸件重量（kg）；

m——系数，一般 m = 0.3～0.5。对于湿型、平面尺寸较大，或尺寸较长的铸件取中上限值。

3.4.5　非铁合金铸件的浇注系统尺寸

1. 铝、镁合金铸件的浇注系统尺寸

铝、镁合金的热容量小，温度降低快，性质活泼，易吸气和氧化结皮，凝固收缩大，因此要求浇注系统能快速平稳的充型，具有较强的挡渣能力和补缩能力。

铝、镁合金浇注系统形式：①顶注式（适用于高度小于 100mm、外形简单、尺寸较小、不重要的铝、镁铸件）；②中注式（适用于高度不大、容易在中间分型、分型后液落高度小于 100mm 的大、中型铝镁铸件）；③底注式（广泛用于较高的大、中型铝、镁铸件）；④缝隙式（简单缝隙式多用于支架类铸件；带立筒的缝隙式大多用于镁合金筒形铸件和金属液下落高度较大的铸件）；⑤复合式（一般用于特殊复杂的大型铸件）。

（1）铝合金铸件的浇注系统尺寸（见表 3-73、表 3-74、表 3-75）

表 3-73　铝合金铸件浇注系统各组元截面比

分类	$A_{直}$	$A_{横}$	$A_{内}$
大型铸件	1	2～5	2～6
中型铸件	1	2～4	2～4
小型铸件	1	2～3	1.5～4

表 3-74　铝铸件的浇注重量与直浇道总截面积的关系

浇注件重量 G/kg	≤5	5～10	10～15	15～30	30～50	50～100	100～250	250～500	≥500
直浇道总截面积 $A_{直}/cm^2$	1.5～3.0	3～4	4～5	5～7	7～10	10～15	15～20	20～30	>30
直浇道直径 /mm	14～20	20～22	22～25	25～30	30～35	(25～30)×2	(30～50)×2 或 (22～25)×4	(35～45)×2 或 (25～30)×4	>45×2 >30×4

注：浇注件重量，指带浇冒口的铸件重量。

表3-75　铝铸件的内浇道截面积

铸件重量 G/kg	铸件水平面积/cm^2											
	≤30		31~70		71~120		121~200		201~500		501~1000	
	内浇道总截面积和数量											
	$\Sigma A_{内}$/cm^2	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm^2	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm^2	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm^2	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm^2	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm^2	数量/个
≤0.1	0.5~1.0	1	0.8~1.5	1								
>0.1~0.2	0.7~1.5	1	1.0~2.0	1	1.2~2.3	1~2	1.8~3.0	1~2				
>0.2~0.35			1.2~2.3	1~2	1.5~2.7	1~2	2.0~3.2	2				
>0.35~0.5			1.5~2.5	1~2	1.8~3.0	1~2	2.3~3.6	2				
>0.5~0.65					2.0~3.2	2	2.5~4.0	2	2.7~4.5	2~3		
>0.65~0.80					2.5~3.8	2	3.0~4.5	2~3	4.0~5.5	2~3		
>0.8~1.0							3.5~5.0	2~3	4.0~5.5	2~3	6.0~7.5	3~4
>1.0~1.5							4.0~5.5	2~3	4.7~7.0	2~4	6.8~8.0	3~4
>1.5~2.5									5.0~8.0	2~4	7.5~10	3~6
>2.5~5.0									6.5~10	3~6	9.0~15	4~6

（2）镁铸件的浇注系统尺寸（见表3-76、表3-77）

表3-76　镁合金铸件浇注系统各组元截面比

分类	$A_{直}$	$A_{横}$	$A_{内}$
大型铸件	1	3~5	3~8
中型铸件	1	2~4	3~6
小型铸件	1	2~3	1.5~4

注：上述的截面比，未考虑内浇道需起补缩作用等特殊情况。

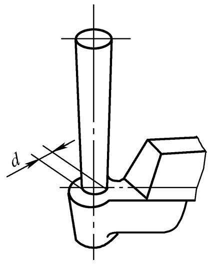
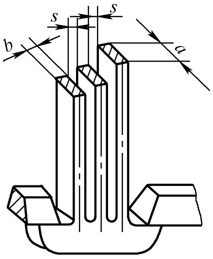
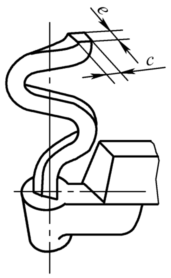
表 3-77 镁合金铸件内浇道截面积的选择

铸件重量 G/kg	铸件水平面积/cm²											
	≤30		31~70		71~120		121~200		201~500		501~1000	
	内浇道总截面积和数量											
	$\Sigma A_{内}$/cm²	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm²	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm²	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm²	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm²	数量/个	$\Sigma A_{内}$/cm²	数量/个
≤0.1	0.4~1.0	1	1.0~1.8	1~2								
>0.1~0.2	0.6~1.2	1	1.9~2.3	1~2	2.0~2.5	1~2						
>0.2~0.35			2.0~2.5	1~2	2.3~3.0	1~2	2.5~3.0	2				
>0.35~0.50			2.4~3.0	1~2	2.5~3.2	2	2.8~3.5	2				
>0.50~0.65					2.5~3.5	2	3.0~4.0	2~3				
>0.65~0.80					3.0~4.0	2~3	3.2~4.5	2~3	3.5~4.8	2~3		
>0.8~1.0							3.4~4.8	2~3	3.8~5.5	2~3	4.0~6.5	3
>1.0~1.5							3.8~5.5	2~3	4.0~6.5	2~4	5.5~10	3~4
>1.5~2.5									4.5~9.5	3~6	6.0~15	4~6
>2.5~5.0									5.5~10	3~6	6.5~20	4~8

（3）铝、镁合金铸件的直浇道、横浇道、内浇道截面尺寸

1）直浇道尺寸见表 3-78。

表 3-78 圆锥形、片状、蛇形直浇道尺寸

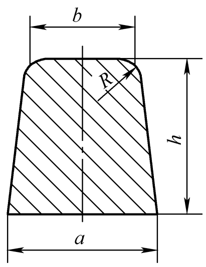
截面积/cm²	圆锥形直浇道	片状直浇道				蛇形直浇道						
	d	a	b	n	s	c	e	铝合金曲折数/镁合金曲折数				
								直浇道高度/mm				
								300	400	500	600	700
0.8	10					13	6	2/3	3/4	4/6	5/7	6/8
1.0	12					14	7	2/3	3/4	4/6	5/7	6/8
1.5	14	16	6	2	18	19	8	2/3	3/4	4/6	5/7	6/8
2.0	16	20	5	3	18	22	9	2/3	3/4	4/6	5/7	6/8
2.5	18	22	6	2	20	25	10	2/3	3/4	3/5	5/7	6/8
3.0	20	20	5	3	18	27	11	2/3	3/4	3/5	5/7	6/8
3.5	21	20	6	3	20	29	12	1/2	2/4	3/5	4/6	5/8
4.0	23	22	6	3	20	31	13	1/2	2/4	3/5	4/6	5/8
5.0	25	22	6	4	20	36	14	1/2	2/4	3/5	4/6	5/8
6		25	8	3	25	38	16	1/2	2/3	3/4	4/6	5/8
7		30	8	3	25	41	17	1/2	2/3	3/4	4/6	4/6
8		25	8	4	25	45	18	1/2	2/3	3/4	4/5	4/6
10		30	8	4	25							
12		25	8	6	25							
14		30	8	6	25							
16		25	8	8	25							
20		30	8	8	25							
22		25	8	12	25							
25		25	8	12	25							
28		30	8	12	25							

注：n—片状浇道的数量。

2）梯形横浇道的截面尺寸见表 3-79。

表 3-79　梯形横浇道的截面尺寸

图示



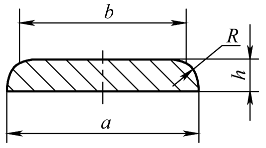
$b \approx 0.8a$　$h \approx a, 1.2a, 1.5a$　$R = 3 \sim 5\text{mm}$

$h \approx a$			$h \approx 1.2a$				$h \approx 1.5a$			
a	b	截面积/cm^2	a	b	h	截面积/cm^2	a	b	h	截面积/cm^2
mm			mm				mm			
15	12	2.0	16	13	19	2.8	16	13	24	3.5
18	14.5	2.9	17	13.5	20.5	3.2	17	13.5	25.5	3.9
19	15	3.2	18	14.5	21.5	3.5	18	14.5	27	4.4
20	16	3.6	19	15	23	3.9	19	15	28.5	5
21	17	4.0	20	16	24	4.2	20	16	30	5.4
22	17.5	4.4	21	17	25	4.8	21	17	31.5	6
23	18.5	4.8	22	17.5	26.5	5.2	22	17.5	33	6.5
24	19	5.2	23	18.5	27.5	5.7	23	18.5	34.5	7.2
25	20	5.6	24	19	29	6.2	24	19	36	7.2
26	21	6.1	25	20	30	6.8	25	20	37.5	8.5
27	21.5	6.5	26	21	31	7.3	26	21	39	9.2
28	22.5	7.1	27	21.5	32.5	7.9	27	21.5	40.5	9.8
29	23	7.5	28	22.5	33.5	8.5	28	22.5	42	10.6
30	24	8.1	29	23	35	9.1	29	23	43.5	11.3
32	25.5	9.2	30	24	36	9.7	30	24	45	12.2
34	27	10.4	32	25.5	38.5	11.1	32	25.5	48	13.8
36	29	11.5	34	27	41	12.5	34	27	51	15.5
38	30.5	13	36	29	43	14	35	28	52.5	16.5
40	32	14.4	38	30.5	45.5	15.5	36	29	54	17.3
44	35	17.4	40	32	48	17.3	38	30.5	57	19.5
48	38.5	20.8	45	36	54	21.8	40	32	60	21.6

3）内浇道的截面尺寸见表 3-80、表 3-81 和表 3-82。

表3-80　扁平内浇道的截面尺寸　（单位：mm）

图示



常取 $R=2\sim3$mm

截面积/cm^2	$h\approx a/5$			$h=4$		$h=5$		$h=6$		$h=7$		$h=8$		$h=9$		$h=10$		$h=12$	
	a	*b*	*h*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
0.6	18	16	3.5	18	16	13	11												
0.7	19	17	4	19	17	15	13												
0.8	21	19	4	21	19	17	15												
0.9	22	20	4.5	24	22	19	17	16	14										
1.0	23	21	4.5	26	24	21	19	18	16										
1.2	25	23	5	31	29	25	23	21	19	18	16								
1.4	27	25	5.5	36	34	29	27	25	22	21	19								
1.6	29	27	6			33	31	29	27	24	22	21	19						
1.8	31	28	6			37	35	31	28	27	24	24	22						
2.0	33	30	6.5			41	39	35	32	30	27	26	24						
2.2	34	32	7					39	35	34	32	29	26	25	24				
2.5	36	34	7.5					44	40	38	34	33	30	29	27				
2.8	38	36	7.5							42	38	37	33	32	30	29	27		
3.0	39	37	8							45	41	39	37	35	33	31	29		
3.3	41	38	8							50	47	41	38	38	36	34	32		
3.6	43	40	8.5									47	43	41	39	37	35		
3.8	44	41	9									50	47.5	44	41	39	37		
4.2	47	43	9.5									55	52.5	48	45	43	41	36	34
4.8	50	46	10											55	52	50	46	41	39
5.4	53	49	10.5											62	58	56	52	47	43
6.0	56	53	11													63	57	52	48
6.7	59	57	11.5													69	65	58	54
8.2																		70	66

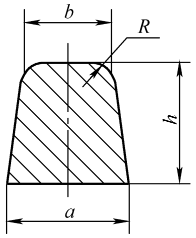
注：1. 扁平内浇道能有效防止金属液吸渣入型，并常以分散、均布及增加其数目等途径来调节温差和凝固顺序。根据需要，常取其厚度为4~10mm（约为流入处铸件壁厚的50%~100%，对于薄壁处可取比其壁厚小2mm），常用宽厚比4~6，即表中折线框内所示数据。表内除“$h\approx a/5$”一栏外，各栏自上而下所列断面尺寸之宽厚比依次增大。

2. 内浇道入口处应倒圆，并最好采取向型腔方向逐渐加宽的扩张式引入方法。

3. 内浇道的长度应视具体情况而定，常取20~50mm。

表 3-81　梯形截面内浇道的截面尺寸

图　示

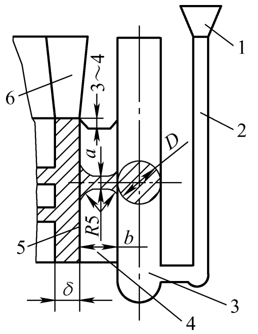


$h \approx a, 1.2a, 1.5a \quad R = 2 \sim 3\text{mm}$

$h \approx a$			$h \approx 1.2a$				$h \approx 1.5a$			
a	b	截面积 /cm^2	a	b	h	截面积 /cm^2	a	b	h	截面积 /cm^2
mm			mm				mm			
10	8	0.9	10	8	12	1.1	10	8	15	1.4
12	10	1.3	12	10	14	1.5	12	10	18	2.0
15	12	2.0	15	12	18	2.4	15	12	23	3.1
18	15	3.0	18	15	22	3.6	18	15	27	4.5
20	16	3.6	20	16	24	4.3	20	16	30	5.4
22	18	4.4	22	18	26	5.2	22	18	33	6.6
25	20	5.7	25	20	30	6.8	25	20	38	8.6

注：梯形截面内浇道，主要用于金属液从铸件最后凝固处（厚壁部位）引入，并需内浇道有补缩作用的场合，此时常于内浇道前部设补缩暗冒口。

表 3-82　缝隙浇道的尺寸

<table>
<tr><th>图　示</th><th>部位名称</th><th>尺寸关系</th></tr>
<tr><td rowspan="5">

1—外浇口　2—直浇道　3—集渣筒
4—缝隙浇道　5—铸件　6—顶冒口</td><td>缝隙厚度 a</td><td>设:缝隙浇道处铸件壁厚为 δ,则
$\delta \geqslant 10\text{mm}$,取 $a = (0.8 \sim 1)\delta$
$\delta < 10\text{mm}$,取 $a = (1 \sim 1.5)\delta$
有时,为将热节引向集渣筒与冒口,可取 $a > 1.5\delta$,并可考虑在缝隙对面放适宜的冷铁激冷</td></tr>
<tr><td>缝隙长度 b</td><td>视具体情况而定,常取 15 ~ 35mm</td></tr>
<tr><td>集渣筒直径 D</td><td>$D = (4 \sim 6)a$</td></tr>
<tr><td>缝隙数目 n</td><td>$n = 0.024P/a$,P—铸件外围周长(mm)</td></tr>
<tr><td>过渡浇道截面积 $A_{过}$</td><td>$A_{过} = (2 \sim 5)A_{直}$,$A_{直}$—直浇道截面积</td></tr>
</table>

注：1. 缝隙浇道应尽量设在铸件外形较为平直的垂直面，避免在高度方向上中断。

2. 缝隙可做成上厚下薄，但除冒口部位外，不宜突变，通常取上下厚薄一致，或以 1° ~ 2° 向上渐扩。

3. 缝隙的最低点应高于直浇道进入集渣筒的高度，以利浮渣。

4. 当铸件较高或考虑补缩的需要，可将缝隙与冒口连通，加厚冒口处的缝隙厚度。

2. 铜合金铸件的浇注系统尺寸

（1）铜合金铸件浇注系统各组元的截面比（见表 3-83）

表 3-83　铜合金铸件浇注系统各单元的截面比

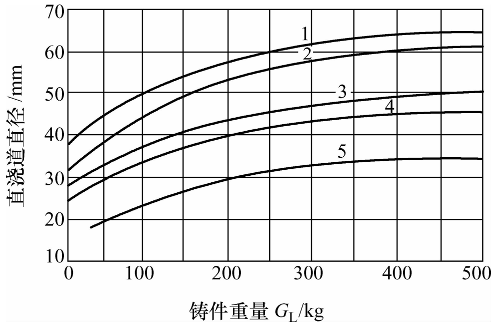
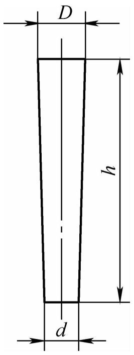
铜合金种类	各组元截面比					使用范围
	$A_{直}$	$A_{直出}$	$A_{滤}$	$A_{横}$	$A_{内}$	
锡青铜类	1	—	—	1.2～2	1.2～3	适用于复杂的中、大型件，内浇道处不设暗冒口，采用底注法
	1	—	0.9	1.2～2	1.2～3	
	1.2	—	—	1.5～2	1	适用于阀门，内浇道处设暗冒口补缩，适用于雨林浇道
	1.2	—	1.1	1.5	2～3	适用于阀门件，采用过滤网浇道
无锡青铜及黄铜类	1	—	0.9	1.2	3～10	复杂的大型铸件
	1	—	0.9	1.2	1.5～2.0	小型筒，单件
特殊黄铜类	1	0.8	—	2～2.5	10～30	适用于螺旋桨

注：$A_{直}$、$A_{横}$、$A_{内}$—直浇道、横浇道、内浇道的截面积；$A_{直出}$—直浇道的出口截面积；$A_{滤}$—过滤网网眼的总截面积。

（2）铜铸件浇注系统的各组元尺寸

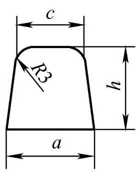
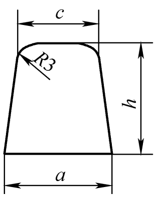
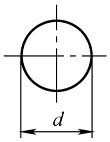
1）根据铜铸件重量选择直浇道直径，见表 3-84。

表 3-84　铜铸件直浇道直径尺寸

根据铜铸件重量选择直浇道直径	直浇道斜度规格/mm				
	h	$D-d$	h	$D-d$	示意图
 铜铸件重量与直浇道直径的关系图 1—适于锡青铜壁厚 3～8mm 的铸件　2—锡青铜壁厚 8～30mm 的铸件　3—锡青铜壁厚大于 30mm 的铸件　4—适于无锡青铜和黄铜　5—适于特殊黄铜	100	2	1100	11	
	200	3	1200	12	
	300	4	1300	13	
	400	4	1400	14	
	500	5	1500	15	
	600	6	1600	16	
	700	7	1700	17	
	800	8	1800	18	
	900	9	1900	19	
	1000	10	2000	20	

2）直浇道、横浇道的截面尺寸见表 3-85。

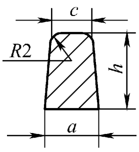
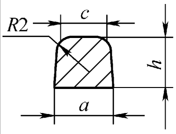
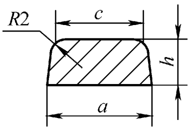
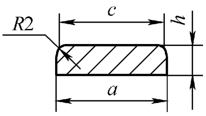
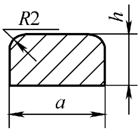
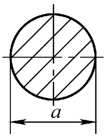
表 3-85　直浇道、横浇道的截面尺寸　（单位：mm）

横　浇　道								直　浇　道	
 $h\approx0.8a$				 $h=(1\sim1.2)a$					
截面积/cm^2	*a*	*c*	*h*	截面积/cm^2	*a*	*c*	*h*	截面积/cm^2	*d*
1.6	15	12	12	1.6	13	10	14	3.14	20
2.4	18	14	15	2.0	14	11	16	4.90	25
3.5	21	17	18	2.5	16	12	18	7.07	30
4.5	25	20	20	3.0	17	13	20	9.62	35
5.6	28	23	22	3.5	18	14	22	12.56	40
6.6	30	25	24	4.0	19	15	24	15.90	45
7.6	32	26	26	4.5	23	18	22	19.63	50
8.7	34	28	28	5.0	22	18	25	23.76	55
9.8	36	30	30	6.0	25	20	27	28.27	60
11	38	33	31	7.0	27	23	28	33.18	65
12.3	40	34	33	8.0	29	24	30	38.48	70
13.7	43	37	34	10	32	26	35	44.18	75
15.2	45	39	36	11	35	28	35	50.27	80
17	48	42	38	13	36	28	40	56.75	85
19	50	45	40	15	41	33	41	63.62	90
21.5	54	48	42	16	40	30	46	70.88	95
24	57	50	45	17	43	36	43	78.54	100
27	61	54	47	19	46	39	45		
29.5	63	57	49	20	46	34	50		
35	68	62	54	30	56	44	60		

注：要求挡渣效果高时，采用 *h* 大的横浇道。

3）内浇道的截面尺寸见表 3-86。

表 3-86　内浇道的截面尺寸　（单位：mm）

截面积/cm^2	 $h≈1.5a$			 $h≈0.75a$			 $h≈0.5a$			 $h≈0.2a$			 $h≈0.5a$		
	a	*c*	*h*	*a*	*c*	*h*	*a*	*c*	*h*	*a*	*c*	*h*	*a*	*h*	*a*
0.6	8	6	10	10	8	7	12	8	6	16	14	4	12	5	8
0.8	8	6	12	11	9	8	13	10	7	21	19	4	12	7	10
1.1	10	7	14	13	10	10	16	13	8	23	21	5	15	8	12
1.5	11	8	16	15	12	12	18	15	9	26	24	6	17	9	14
2.0	12	8	19	17	14	13	22	18	10	30	27	7	20	10	16
2.6	14	10	22	19	16	15	24	20	12	35	31	8	22	12	18
3.2	16	12	23	22	18	16	26	23	13	38	34	9	25	13	20
3.8	17	13	25	24	21	17	29	26	14	44	40	9	28	14	22
4.5	18	14	28	26	22	19	32	28	15	47	43	10	30	15	24
5.2	20	15	30	28	24	20	34	31	16	50	46	11	33	16	26
5.9	21	16	32	29	25	22	35	32	18	52	47	12	35	17	27
6.6	23	17	33	31	26	23	37	33	19	57	53	12	37	18	29
7.4	24	18	35	33	28	24	39	35	20	59	55	13	39	19	31
8.2	25	20	37	34	29	26	41	37	21	65	61	13	41	20	
9.0	26	21	39	36	31	27	44	38	22	66	62	14	43	21	
10	28	22	40	38	32	29	46	41	23	74	70	14	44	23	
11	29	24	42	40	34	30	48	44	24	76	72	15	46	24	
12	30	24	45	43	35	31	50	46	25	77	73	16	48	25	
13	32	26	45	44	36	32	52	48	26	80	75	17	51	26	
14	33	27	47	45	38	34	54	50	27	82	76	18	52	27	

3. 典型铜铸件的浇注系统形式

锡青铜的结晶温度范围宽，易产生缩松，对于小型实体铸件可采用压边浇口，大型套筒类铸件采用雨淋式底注；铝青铜结晶温度范围窄，收缩较大，易产生集中缩孔，同时其氧化倾向较大，故浇注时应强调顺序凝固强化补缩，浇注系统应以底注开放式为主，配以滤渣网和集渣包。

黄铜、无锡青铜涡轮铸件，常采用反雨淋式滤网浇注系统；小型涡轮（＜2t）铸

件，常采用底注式浇注系统；锡青铜阀门类铸件，常采用“直浇道-横浇道-内浇道-冒口-内浇道-铸件”的方式；螺旋桨铜铸件，常采用过滤网浇注系统。

3.4.6 内浇道位置的开设原则

内浇道位置开设的合理与否直接影响铸件质量。实际生产中，由于铸件结构和生产条件不同，在选择内浇道的引入位置时常出现矛盾，此时，应以保证铸件质量为核心，结合具体情况综合分析，应灵活选择。

在选择内浇道位置时，应考虑表 3-87 所列的原则。

表 3-87 内浇道位置的开设原则

序号	开 设 原 则	内浇道开设位置及其目的
1	有利于铸件凝固补缩	1）壁厚相差不大的铸件，内浇道应开设在薄壁处，且多而分散，以使铸件形成同时凝固 2）壁厚相差悬殊的铸件，内浇道应开设在厚壁处，以使铸件形成定向凝固。内浇道最好经过冒口将金属液引入型腔，以加强冒口的补缩作用。为避免铸件温差过大而产生较大的收缩应力，内浇道也可开在铸件的次厚地方 铸钢件、可锻铸铁件、球墨铸铁件多采用定向凝固 3）结构复杂的铸件，对每一个补缩区应按定向凝固开设内浇道，而整体铸件应按同时凝固开设内浇道，即内浇道多且分散地引入。这样既可使厚大部分得以补缩，又可使应力和变形最大程度地减小 4）当铸件壁厚悬殊而又必须从薄处开设内浇道时，则同时应使用冷铁加快厚壁处激冷，加大冒口、点补冒口等工艺措施，以保厚壁处补缩
2	有利于改善铸件的铸态组织	1）内浇道一般不要开在铸件质量要求高的重要部位，以免由于局部过热而造成晶粒粗大，或产生缩孔、缩松、裂纹和粘砂等缺陷 2）对有耐压要求的管类铸件，内浇道应开设在法兰处，以防止管壁产生缩松 3）内浇道不要开在靠近冷铁（或芯撑）的地方，以免降低冷铁的激冷作用（或使芯撑过早熔化）
3	有利于保证铸件表面质量	内浇道最好开设在要求不高的加工面上，而不开在非加工面上，以使铸件外表美观
4	有利于平稳充型	1）内浇道应顺着铸件壁厚开设，应避免直冲型芯、型壁，或型腔中如凸台、吊砂等薄弱部位，以防产生冲砂或局部过热 2）对旋转体类铸件，内浇道应切向引入，力求方向一致，以利将型内杂质集中排入冒口或相应的工艺凸台中 3）内浇道的开设应有利于充型平稳、排气和除渣。各内浇道引入的金属液流向应一致，避免混流，不利渣、气排除
5	有利于减少收缩应力和防止裂纹	1）内浇道开设不应阻碍铸件收缩 2）内浇道开设应能使金属液快速、均匀地充型，避免各部温差过大 3）对壁厚均匀的大件，内浇道要多、分散，以便均匀地充型

（续）

序号	开 设 原 则	内浇道开设位置及其目的
6	有利于铸件清理	1）内浇道开设位置应便于清理、打磨和去除浇注系统 2）内浇道设置应方便开箱和清砂
7	有利于操作	内浇道应尽量开设在分型面上，便于造型操作
8	有利于降低消耗	1）内浇道开设应尽量减小砂箱尺寸，使型砂用量减小 2）内浇道开设应尽量减少浇注系统金属的消耗

3.5　冒口

3.5.1　冒口的作用、种类、形状和设置

合理地设计冒口的形状、位置、数量和尺寸，对获得组织致密的合格铸件具有重要意义。

1. 冒口的作用

冒口的作用主要是补缩，控制铸件凝固，防止铸件产生缩孔和缩松。此外，冒口还有排气、集渣、判断浇注情况的作用。

2. 冒口的种类

冒口的种类见表 3-88，铸钢件和铸铁件常用冒口的种类见图 3-8。

表 3-88　冒口的种类

分类方法			特　征
普通冒口	按在铸件上的位置分	顶冒口	直接安放在铸件顶部的最厚部位，靠金属液重力作用来补缩
		边冒口（侧冒口）	铸件要补缩的热节不在最高处，而在侧边，或下半型时应用
	按冒口与大气是否相通分	明冒口	顶冒口多属明冒口
		暗冒口	边冒口多属暗冒口
特种冒口	按加压方式分	大气压力冒口	冒口顶部插 1 ~ 2 根伸入冒口内腔小砂芯，当铸件和冒口表层结壳后，外边空气通过小砂芯压入冒口中，增加补缩压力。比自重压力冒口的补缩好
		压缩空气冒口	是通入压缩空气来增加钢液补缩压力的冒口，它附带有氧化发热作用，使钢液缓慢冷却，从而增加了冒口的补缩作用
		气弹冒口	在冒口内侧壁上固定一个气弹，当受金属液压力和高温作用时，弹壳里装的发气剂（如苏打、石灰石粉等）分解产生气体并膨胀，将冒口内的钢液压入铸件

（续）

分类方法			特　征
特种冒口	按加热方式分	发热冒口	冒口用发热材料造型，钢液进入冒口与发热材料接触，发生化学放热反应，加热冒口中的钢液
		保温冒口	用一种导热率和容积密度均非常小的保温材料作为冒口的保温套。如：珍珠岩复合型保温套、纤维复合型保温套、空心微珠复合型保温套、陶粒保温套
		电热冒口	就是从浇注到完全凝固的全过程中始终对冒口通电加热，使冒口中的金属液保持熔融状态，保证铸件获得充分补缩。用于大型铸钢件
		煤气加热冒口	用煤气加热冒口内的金属液，增加冒口的补缩效率
		加氧冒口	冒口中通入氧气，利用氧化发热作用减缓冒口冷却，使冒口的补缩作用加强
	易割冒口		易割冒口是在铸件与冒口之间，放一块强度高而薄的隔片，隔片中有一个直径等于0.39倍冒口直径的补缩孔。由于隔片的厚度薄易热，使钢液不易凝固，有利补缩，且便于切除冒口
球墨铸铁自补缩冒口		压力冒口	适用于$Mc \leq 0.48$cm的球墨铸铁件。冒口只是为了补给铸件的液态收缩。当液态收缩终止冒口颈即行凝固，利用铸件全部共晶膨胀压力补偿铸件的二次收缩，以消除铸件缩松
		浇注系统兼冒口	适用于$Mc \leq 0.48$cm的球墨铸铁件，常采用浇注系统当作冒口进行补缩
		控制压力冒口	适用于$0.48\text{cm} < Mc < 2.5\text{cm}$的球墨铸铁件，砂型硬度大于85的湿型铸造。在共晶膨胀结束之前冒口颈凝固，利用部分共晶膨胀在铸件内建立适度的内压力，以抵消二次收缩缺陷。以暗边冒口为宜（可采用压边暗冒口），安放在铸件的厚大部分
		安全小冒口、无冒口	适用于干型、自硬砂型、水泥砂型等刚性大的砂型铸造、$Mc > 2.5$cm的球墨铸铁件。采用的安全小冒口（1～2个），重量不超过浇注重量的2%

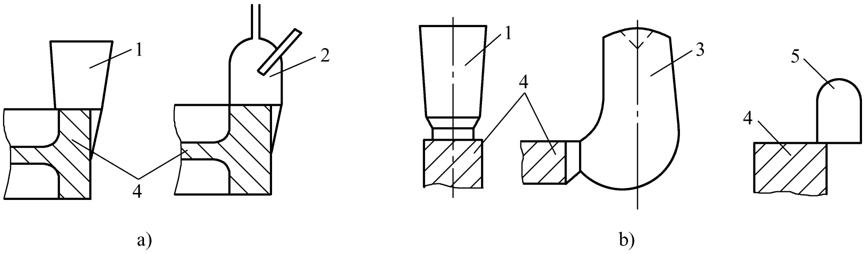


图 3-8　生产中常用的冒口种类

a）铸钢件冒口　b）铸铁件冒口

1—明顶冒口　2—大气压力暗顶冒口　3—边冒口　4—铸件　5—压边冒口

3. 冒口的形状

冒口形状直接影响其补缩效果。在体积相同的冒口中，选用散热表面最小的，这样冒口的散热慢，凝固时间就长，其补缩效果就更好。冒口体积与表面积之比称之为模数，模数是冒口（或铸件）凝固时间长短的标志。不管冒口（或铸件）形状如何，模数大则凝固时间长，模数小则凝固时间短。

球形冒口的表面积最小，散热最慢，凝固时间最长，是最理想的冒口形状。但造型操作困难，使其应用受到限制。生产中，冒口的形状选择是根据铸件热节处的形状而定的，应用最多的是球顶圆柱形、圆柱形、腰圆柱形等，如图 3-9 所示。

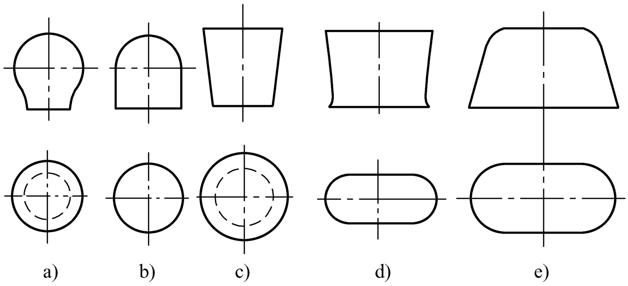


图 3-9　常用的冒口形状

a）球形　b）球顶圆柱形　c）圆柱形　d）腰圆柱形（明）　e）腰圆柱形（暗）

4. 冒口的设置原则

冒口在铸件上的安放位置和数量，对铸件缩孔、缩松的形成有直接影响。因此，在工艺设计和施工过程中，确定冒口位置时，应遵循以下基本原则：

1）冒口应设置（或就近设置）在铸件被补缩热节的上方（顶冒口）或热节的侧旁（边冒口）。

2）冒口应尽量设置在铸件最高、最厚的部位，以利用冒口内金属液重力补缩。

3）当铸件不同高度上的热节需要补缩时，可分别设置冒口，同时，要采用冷铁将各个冒口补缩区隔开，以防高位冒口对铸件进行补缩的同时又补缩低位冒口，导致高位铸件产生缩孔、缩松缺陷，如图 3-10 所示。

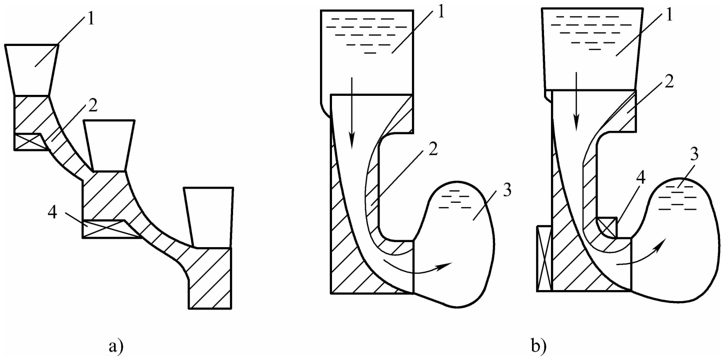


图 3-10　铸件上不等高度冒口的隔离

a）阶梯形热节　b）上下有热节

1—明冒口　2—铸件　3—边冒口　4—外冷铁

4）冒口尽可能设置在铸件的加工面上，而不设在非加工面上，以减少精整工时和节约能耗。

5）冒口尽量不要设置在铸件应力集中的部位和阻碍铸件收缩的部位，以免产生裂纹。不要设置在铸件受力的部位，防止组织粗大，降低力学性能。

6）冒口设置应与内浇道、冷铁、补贴的设置，以及加保温剂、点补金属液等工艺操作结合起来考虑。如内浇道尽量靠近冒口或通入冒口，以提高冒口补缩效率，强化铸件定向凝固。

7）尽量用一个冒口同时补缩铸件上的多个热节（或补缩几个铸件的热节），以提高冒口补缩效率和模板面积的有效利用，如图 3-11 所示。

8）冒口设置应使切除冒口操作方便。

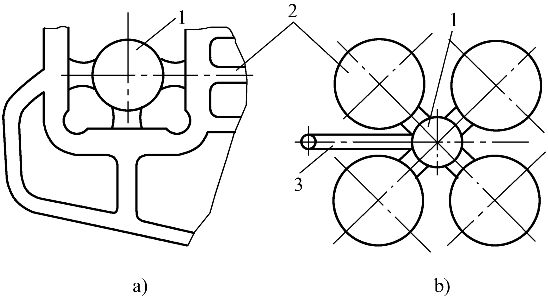


图 3-11　一个冒口补缩几个热节

a）补缩一个铸件上三个热节　b）补缩四个铸件

1—冒口　2—铸件　3—横浇道

3.5.2　铸件热节与冒口的补缩能力

1. 铸件热节圆及热节圆直径

（1）铸件热节与热节圆直径的概念　铸件上凝固较晚的部位称为热节。在铸造

工艺图（或铸件图中）凝固较晚的截面上，画出的内切圆称之为热节圆。内切圆直径即为热节圆直径 d_0。热节圆直径表示铸件的冷凝速度。热节圆直径 d_0 值大，则凝固速度慢；热节圆直径 d_0 值小，则凝固速度快。热节圆直径 d_0 是确定冒口尺寸的基本工艺参数。

（2）确定铸件上热节圆直径的方法　有以下三种：

1）作图法。按比例（最好取 1∶1 比例，包括加工余量、脱模斜度）画出铸件被补缩处的截面，在截面内画内切圆，此内切圆即为热节圆。直接测量出热节圆直径，作为设计冒口尺寸的依据，如图 3-12 所示。

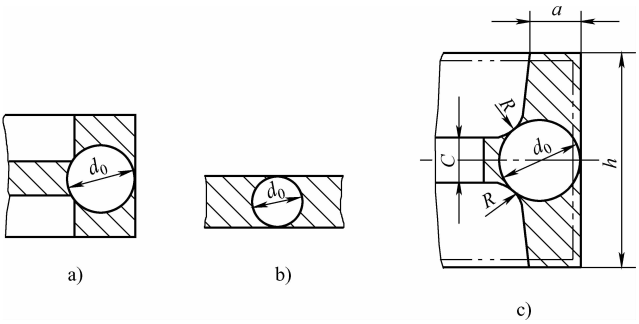


图 3-12　求铸件热节圆直径

2）计算法。图 3-12c 中的 T 形截面热节圆直径，也可用公式计算：

$$d_0 = a + \frac{\left(R + \frac{C}{2}\right)^2}{a + 2R} \tag{3-4}$$

3）查表法。见表 3-89、表 3-90，表中尺寸 a、C、R 包含零件图尺寸 + 加工余量和工艺补贴。

表 3-89　T、Γ 形结构的热节圆直径（对照图 3-12c）　（单位：mm）

a	C	$R=4$	$R=5$	$R=6$	$R=8$	$R=10$	$R=12$	$R=15$	$R=20$	$R=25$	$R=30$	$R=35$	C	a
		热节圆直径 d_0												
15	10	18.5	19.0			100.3	101.2	102.7	105.2				70	80
	12	19.3	19.8			102.6	103.6	105.1	107.6				75	
	15	20.8	21.3			105.0	106.0	107.5	110.0				80	
20	12	23.6	24.0	24.5		106.5	107.5	109.0	111.5				75	85
	15	24.7	25.2	25.7		108.8	109.8	111.3	113.8				80	
	20	27.0	27.5	28.0		111.3	112.3	113.8	116.2				85	
25	15	29.0	29.5	29.9			113.7	115.2	117.7				80	90
	20	30.9	31.4	31.9			116.1	117.6	120.0				85	
	25	33.3	33.8	34.3			118.5	120.0	122.5				90	

（续）

a	C	R=4	R=5	R=6	R=8	R=10	R=12	R=15	R=20	R=25	R=30	R=35	C	a
		热节圆直径 d_0												
	20		35.6	36.7	37.0		120.0	121.5	123.9				85	
30	25		37.7	38.1	39.1		122.3	123.8	126.3				90	95
	30		40.0	40.5	41.5		124.8	126.3	128.8				95	
	25		41.8	42.3	43.2		126.2	127.7	130.2				90	
35	30		43.9	44.4	45.4		128.6	130.0	132.5				95	100
	35		46.3	46.8	47.8		131.0	132.5	135.0				100	
	30		48.0	48.5	49.4	50.4		140.2	142.7	145.2			100	
40	35		50.1	50.6	51.6	52.6		142.5	145.0	147.5			105	110
	40		52.5	53.0	54.0	55.0		145.0	147.5	150.0			110	
	35		54.2	54.7	55.7	56.6		152.7	155.2	157.6			110	
45	40		56.4	56.9	57.9	58.8		155.0	157.0	160.0			115	120
	45		58.8	59.3	60.3	61.3		157.5	160.0	162.5			120	
	40			60.9	61.9	62.9	63.8	165.2	167.7	170.1			120	
50	45			63.1	64.1	65.1	66.1	167.5	170.0	172.5			125	130
	50			65.5	66.5	67.5	68.5	170.0	172.5	175.0			130	
	45			67.1	68.1	69.1	70.1	71.5	180.1	182.6	185.1		130	
55	50			69.3	70.3	71.3	72.3	73.8	182.5	185.0	187.5		135	140
	55			71.8	72.8	73.8	74.8	76.8	185.0	187.5	190.0		140	
	50				74.3	75.3	76.3	77.3	192.6	195.1	197.6		140	
60	55				76.6	77.6	78.6	80.1	195.0	197.5	200.0		145	150
	60				79.0	80.0	81.0	82.5	197.5	200.0	202.5		150	
	55				80.6	81.5	82.5	84	86.4	207.6	210.1	212.6	150	
65	60				82.8	83.8	84.8	86.8	88.8	210.0	212.5	215.0	155	160
	65				85.3	86.3	87.3	88.8	91.3	212.5	215.0	217.5	160	
	60				86.8	87.8	88.8	90.3	92.7	220.1	222.6	225.1	160	
70	65				89.1	90.1	91.1	92.6	95.1	222.5	225.0	227.5	165	170
	70				91.5	92.5	93.5	95.0	97.5	225.0	227.5	230.0	170	
	65				93.0	94.0	95.0	96.5	99.0	232.6	235.1	237.6	170	
75	70				95.3	96.3	97.3	98.8	101.3	235.6	237.5	240.0	175	180
	75				97.8	98.8	99.8	101.3	103.8	237.5	240.0	242.5	180	

表 3-90　“十”字形结构的热节圆直径　　（单位：mm）

a	C	$R=4$	$R=5$	$R=6$	$R=8$	$R=10$	$R=12$	$R=15$	$R=20$	$R=25$	$R=30$	$R=35$	C	a
		热节圆直径 d_0												
	10	21.2	22.0			114.5	116.2	118.7	122.8				70	
15	12	22.5	23.3			117.9	119.6	122.1	126.2				75	80
	15	24.5	25.4			121.4	123.1	125.4	129.7				80	
	12	26.4	27.2	28.0		121.6	123.2	125.7	129.9				75	
20	15	28.2	29.1	29.9		125.0	126.7	129.1	133.3				80	85
	20	31.6	32.4	33.3		128.5	130.1	132.6	136.8				85	
	15		33.0	33.8	35.4		130.3	132.8	136.9				80	
25	20		36.1	36.9	38.6		133.7	136.2	140.3				85	90
	25		39.5	40.3	42.0		137.2	139.7	143.8				90	
	20		40.0	40.8	42.4		137.4	139.9	144.0				85	
30	25		43.2	44.4	45.6		140.8	143.3	147.4				90	95
	30		46.6	47.4	49.1		144.3	146.8	150.9				95	
	25		47.0	47.8	49.4		144.4	146.9	151.0				90	
35	30		50.2	51.0	52.7		147.9	150.3	154.5				95	100
	35		53.6	54.5	565.1		151.4	153.8	158.0				100	
	30		54.0	54.8	56.5	58.1		161.0	165.2	169.3			100	
40	35		57.3	58.1	59.7	61.4		164.5	168.6	172.8			105	110
	40		60.7	61.5	63.2	64.9		168.4	172.1	176.3			110	
	35		61.1	61.90	63.5	65.2		175.2	179.3	183.5			110	
45	40		64.3	65.2	66.8	68.5		178.6	182.8	186.9			115	120
	45		67.8	68.6	70.3	71.9		182.1	186.3	190.4			120	
	40			68.9	70.6	72.2	73.8	189.3	193.5	197.6			120	
50	45			72.2	73.9	75.5	77.2	192.8	196.9	201.0			125	130
	50			75.7	77.3	79.0	80.7	196.3	200.4	204.6			130	
	45			76.0	77.6	79.2	80.9		207.6	211.7	215.9		130	
55	50			79.3	80.9	82.6	84.2		211.0	215.2	219.3		135	140
	55			82.8	84.4	86.1	87.7		214.6	218.7	222.8		140	
	50				84.7	86.3	87.9	90.4	221.7	225.9	230.0		140	
60	55				88.0	89.7	91.3	93.8	225.2	229.3	233.5		145	150
	60				91.5	93.1	94.8	97.3	228.7	232.8	237.0		150	

（续）

a	C	R = 4	R = 5	R = 6	R = 8	R = 10	R = 12	R = 15	R = 20	R = 25	R = 30	R = 35	C	a
		热节圆直径 d_0												
65	55				91.7	93.4	95.0	97.5	101.6	240.0	244.1	248.3	150	160
	60				95.1	96.7	98.4	100.9	105.0	243.5	247.6	251.8	155	
	65				98.6	100.2	101.9	104.4	108.5	247.0	251.1	255.3	160	
70	60				98.8	100.4	102.1	104.5	108.7	254.1	258.3	262.4	160	170
	65				102.1	103.8	105.4	107.9	112.1	257.6	261.8	265.9	165	
	70				105.6	107.3	108.9	111.4	115.6	261.2	265.3	269.4	170	
75	65				105.8	107.5	109.1	111.6	115.7	268.3	272.4	276.6	170	180
	70				109.2	110.9	112.5	115.0	119.1	271.8	275.9	280.0	175	
	75				112.7	114.4	116.0	118.5	122.6	275.3	279.4	183.6	180	

2. 冒口具有补缩能力的基本条件

冒口的补缩能力是有限的，冒口必须具备以下三个条件才具有补缩能力：

1）冒口的容积要足够大，即在冒口内应有足够的金属液补缩铸件。

2）冒口凝固时间晚于铸件凝固时间，即冒口的模数必须大于铸件被补缩部分的模数。

3）冒口与被补缩的铸件之间应有补缩通道，并要保持畅通。

3. 冒口的有效补缩距离

冒口的补缩距离是有限的，超过这个限度，冒口再大也起不到补缩作用。因此，要想利用冒口补缩获得致密铸件，必须根据冒口的有效补缩距离范围合理确定冒口的位置和数量。

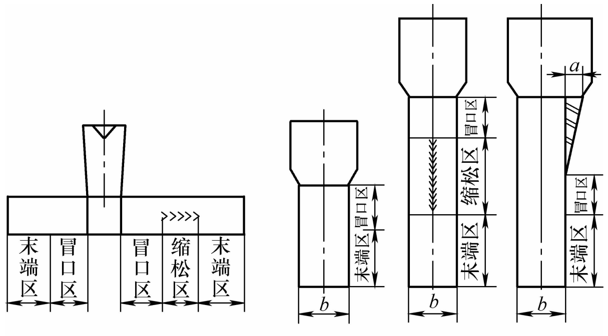
（1）有效补缩距离的概念

1）冒口水平方向的补缩距离。冒口水平方向的补缩距离如图 3-13a 所示。水平方向补缩距离是确定冒口位置和数量的基本依据。冒口水平补缩距离是有限的。为增加冒口水平补缩距离，工艺上常设置水平补贴。

图 3-13a 左边所示：只有靠近铸件边缘的末端区和靠近冒口的冒口区相连接，才能获得致密的无缩松的合格铸件。否则，如图 3-13a 右边所示的那样，将在铸件末端区和冒口区之间产生缩松区。故将“冒口区与末端区之和”称之为冒口有效补缩距离（简称冒口补缩距离）。超出这个距离，铸件中间将产生轴线缩松。

2）冒口垂直方向的补缩距离。冒口垂直方向的补缩距离如图 3-13b 所示。冒口垂直方向的补缩距离是确定冒口补贴的基本依据。

如图 3-13b 所示，冒口垂直方向的补缩距离也是有限的。冒口垂直补缩距离≥铸件高度，铸件不会出现轴线缩松；冒口垂直补缩距离 < 铸件高度，在铸件中间一段仍会有轴线缩松。冒口垂直补缩距离与铸件壁厚和冷却条件有关。被补缩铸件越厚、冷却条件越好，则冒口垂直补缩距离越大。



a)　　b)

图 3-13　冒口补缩距离

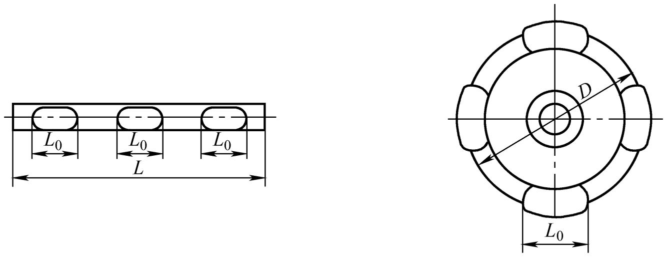
a）冒口水平方向补缩距离　b）冒口垂直方向补缩距离

冒口垂直方向补缩距离是有限的，为增加冒口的垂直补缩距离，可增设垂直补贴，补贴高度 = 壁高 − 末端区。例如对致密度要求高的铸件常设补贴，造成向冒口方向的定向凝固，以增大冒口在垂直方向的补缩距离，来消除铸件的轴线缩松。

（2）补缩距离的表示方法　有两种：

1）用热节圆直径 D_0（或 d_0）的倍数，表示冒口的补缩距离。

2）用延续度（也称冒口的相对长度）表示冒口水平方向的补缩距离。冒口延续度等于冒口根部尺寸之和与铸件同方向长度之比的百分比。只要在此数值范围内，就能保证铸件不产生缩孔和缩松。对于立浇的板状铸钢件和轮形铸钢件，延续度大小随板厚和轮缘厚度而定，延续度一般取 30% ~45%，如图 3-14 所示。



a)　　b)

图 3-14　冒口延续度的示意图

a）长形件，延续度 $=\frac{3L_0}{L}\times100\%$　b）轮形件，延续度 $=\frac{4L_0}{\pi D}\times100\%$

铸件及各种齿轮件的冒口延续度参考表 3-91。

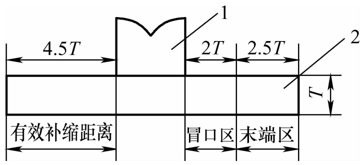
表 3-91　铸件及各种轮形件的冒口延续度

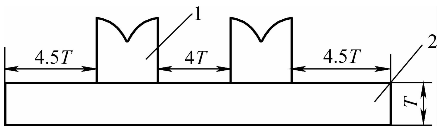
一般铸件		轮形铸件					
厚度/mm	冒口延续度（%）	名称	轮缘最大直径 D/mm	冒口延续度（%）	名称	轮缘最大直径 D/mm	冒口延续度（%）
≤100	38～40	单辐板齿轮	≤450 451～650 651～1000 >1000	35 42～45 45 42	齿式半联轴套和半联轴器	≤500 501～1500 >150	25 25～30 30～32
>100～150	35～38	双辐板齿轮	≤1500 1501～2000 >2000	48 46 44	齿圈	—	42
>150	30～35	三辐板齿论	≤1200 1201～1600 >1600	50 48 47	制动轮	600～1000	42～45

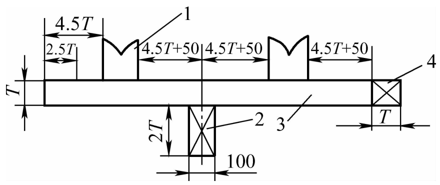
（3）碳钢[w(C)=0.2%～0.30%]铸件的水平补缩距离

1）板状（截面宽∶厚≥5∶1）铸钢件的水平补缩距离见表 3-92。

表 3-92　板状铸钢件的水平补缩距离

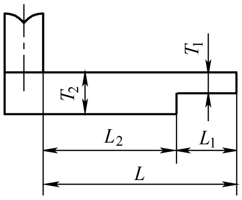
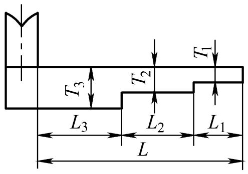
<table>
<tr><th>板状铸件特征</th><th>工艺特点</th><th>补缩距离图示</th><th>补缩距离</th></tr>
<tr><td rowspan="4">截面宽∶厚≥5∶1
铸件壁厚范围：T=12.5～100mm</td><td rowspan="2">不设外冷铁</td><td>

1—冒口　2—铸件</td><td rowspan="2">冒口区长度 $2T$
末端区长度 $2.5T$
两冒口之间的补缩距离 $4T$
冒口到铸件末端的补缩距离 $4.5T$</td></tr>
<tr><td>

1—冒口　2—铸件</td></tr>
<tr><td rowspan="2">设置外冷铁</td><td rowspan="2">

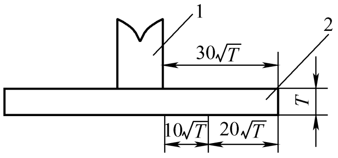
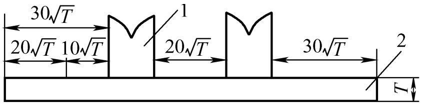
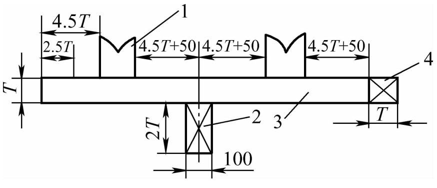
1—冒口　2—冷铁　3—铸件　4—冷铁</td><td>两个冒口之间设置厚度为 $2T$ 的冷铁，则冒口单面补缩距离为 $4.5T$+50mm
两冒口之间的补缩距离为 $9T$+100mm</td></tr>
<tr><td>铸件末端放厚度为 T 的冷铁，则冒口到末端的补缩距离为 $4.5T$+50mm</td></tr>
</table>

（续）

板状铸件特征	工艺特点	补缩距离图示	补缩距离
阶梯板形铸件（其补缩距离比一般板状件大得多）			$L_1=3.5T_1$ $L_2=3(T_2-T_1)+110$ $L=L_1+L_2$
			$L_1=3.5T_2$ $L_2=3.5(T_2-T_1)$ $L_3=3(T_3-T_2)+110$ $L=L_1+L_2+L_3$

2）杆状（截面宽∶厚＜5∶1）铸钢件的水平补缩距离见表 3-93。

表 3-93　杆状铸钢件的水平补缩距离

杆状铸件特征	工艺特点	补缩距离图示	补缩距离
截面宽∶厚＜5∶1 铸件壁厚范围：$T=25\sim200$mm	不设外冷铁	 1—冒口　2—铸件	冒口区长度为 $10\sqrt{T}$ 末端区长度为 $20\sqrt{T}$ 两冒口间的补缩距离为 $20\sqrt{T}$ 冒口到铸件末端的补缩距离为 $30\sqrt{T}$
		 1—冒口　2—铸件	
	设置外冷铁	 1—冒口　2—冷铁（厚 $2T$）　3—铸件　4—冷铁（厚 T）	两冒口间设置厚度为 $2T$ 的冷铁，冒口单面补缩距离为 $30\sqrt{T}+T$，两冒口间的补缩距离为 $60\sqrt{T}+2T$ 铸件末端设置厚度 T 冷铁，冒口到铸件末端的补缩距离可取 $30\sqrt{T}+T$

3）冒口补缩距离与铸件壁厚的关系见图 3-15。

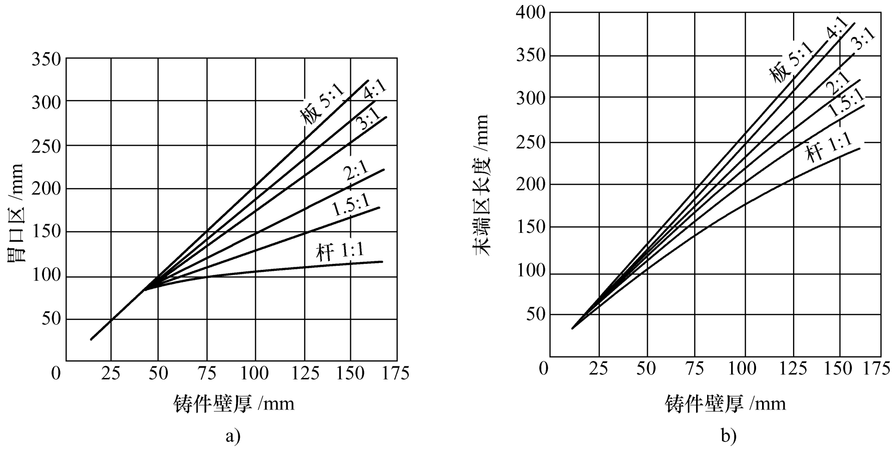


图 3-15　冒口补缩距离与铸件壁厚的关系

a）冒口区长度与铸件壁厚的关系　b）末端区长度与铸件壁厚的关系

（图中 5∶1、4∶1、3∶1、2∶1、1.5∶1、1∶1 是铸件截面宽厚比）

4. 冒口的补缩通道

铸件凝固时，畅通的补缩通道是冒口具有补缩能力的三条件之一。

（1）垂直补缩通道　垂直补缩通道如图 3-16c 所示。

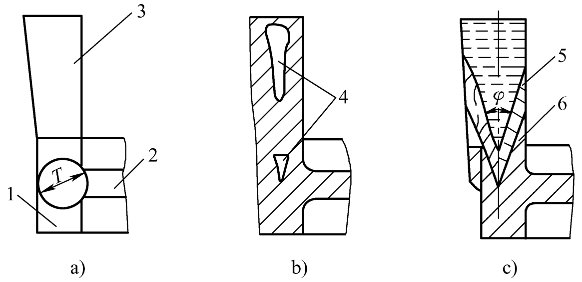


图 3-16　铸钢齿轮轮缘冒口、补缩通道、缩孔

a）冒口位置　b）有缩孔　c）无缩孔

1—轮缘　2—辐板　3—冒口　4—缩孔　5—液相线等温面　6—固相线等温面

图 3-16a 所示为铸钢齿轮铸件，冒口设置在轮缘上，轮缘和轮辐交接处的热节圆直径 T 大于轮缘厚度，因而轮缘先凝固、热节后凝固，堵塞了金属液的补缩通道，在凝固结束后，热节处的中心部位出现缩孔（图 3-16b）。

图 3-16c 在轮缘上部加补贴使其增厚，造成上下温差，凝固区域由下向上逐渐推移，而且凝固是从壁的两侧同时进行，在液相线等温面（图中序号 5）之间形成一夹角 φ（补缩通道扩张角）。在补缩通道扩张角 φ 的夹角范围内的金属都处于液态，它始终和冒口及凝固区域相通，形成补缩通道。只要此补缩通道畅通，冒口中的金属液就能经此通道补充给铸件。

补缩通道的长度与铸件的结构、冷却条件、合金成分及凝固特征有关。

（2）水平补缩通道　水平补缩通道如图 3-17 所示。图中所示为在一端设置冒口的均匀壁厚铸件。在由液相线等温面形成的补缩通道扩张角 φ_2 的夹角范围内的金属都处于液态，始终和冒口及凝固区域相通，形成补缩通道。

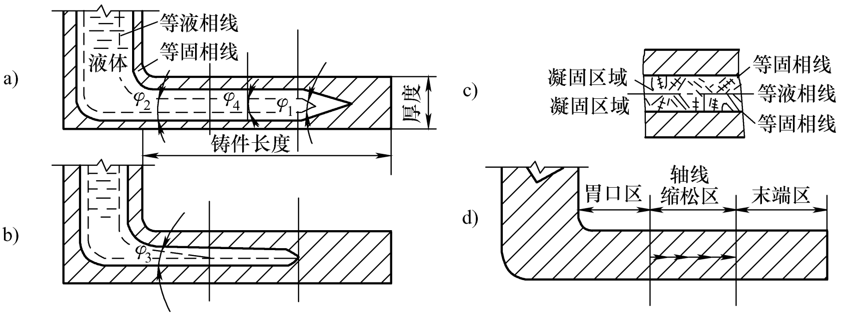


图 3-17　均匀壁厚铸件冒口水平补缩通道

a）、b）等液相线和等固相线移动情况　c）中间凝固区放大　d）凝固结束后的三个区域（中间区产生轴线缩松）

（φ_1 末端区扩张角，φ_2、φ_3 冒口区扩张角，$\varphi_4=0$ 中间区扩张角）

5. 冒口补贴

板状铸件和壁厚均匀的薄壁铸件，单纯设置冒口，由于凝固时没有向着冒口的补缩通道扩张角（畅通的补缩通道），铸件得不到补缩，仍出现缩松缺陷。如果在靠近冒口区的一端向着冒口逐渐增加铸件壁厚，形成一个向着冒口的补缩通道扩张角，就能显著增加冒口的有效补缩距离。称这种人为的、在靠近冒口的铸件壁上逐渐增加的厚度为冒口补贴（简称补贴）。冒口补贴是增加冒口补缩距离的有效工艺措施。

（1）水平补贴（又称凸肩补贴）　水平补贴增设在冒口侧面，以增加冒口水平补缩距离。冒口区则从水平补贴的末端开始计算（图 3-18b）。水平补贴尺寸的计算方法见图 3-18c 。

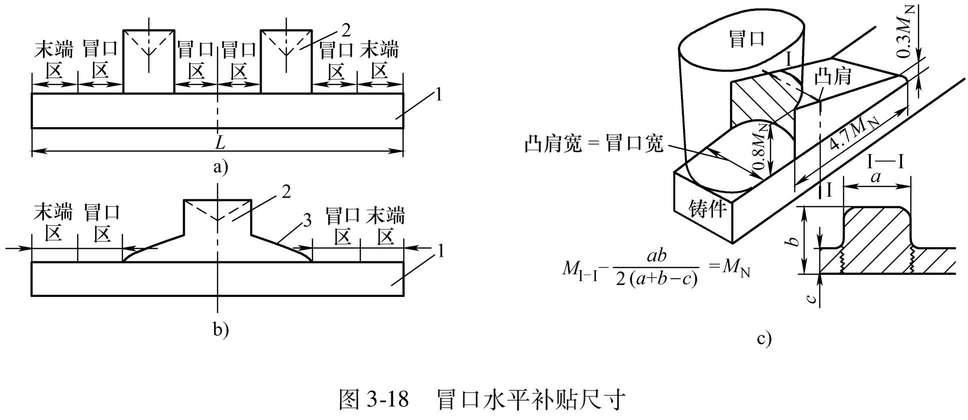


图 3-18　冒口水平补贴尺寸

a）无补贴　b）有水平补贴　c）水平补贴尺寸计算

水平补贴的模数计算公式为

$$M_{\mathrm{I-I}}=\frac{ab}{2(a+b-c)}=M_{\mathrm{N}}$$

式中　$M_{\mathrm{I-I}}$——补贴模数；

M_{N}——冒口颈模数。

（2）垂直补贴　对致密度要求高的铸件，当冒口在垂直方向补缩距离达不到时，应在冒口下设置补贴造成向冒口方向的顺序凝固，以增加冒口的补缩距离。

1）板状件的补贴。如图3-19所示为厚度≤100mm的碳钢板状铸件立浇、顶注时的补贴厚度与铸件壁厚和高度的关系曲线。

由图3-19可知：

①可以查得冒口在垂直方向的补缩距离。假设补贴厚度为零（即不加补贴），从横坐标上可直接读出冒口的垂直补缩距离：当厚度 $\delta=25$mm 时，对应壁的高度为60mm；$\delta=100$mm 时，壁的高度为270mm，在这个高度范围内，铸件不需要加补贴，只要有足够大的冒口，就可获得致密的、无轴线缩松的铸件。

②补贴的高度与铸件被补缩部分的厚度有关，铸件的下部是致密区（冒口区+末端区），壁越厚，则致密区范围越大。补贴高度按下式确定：

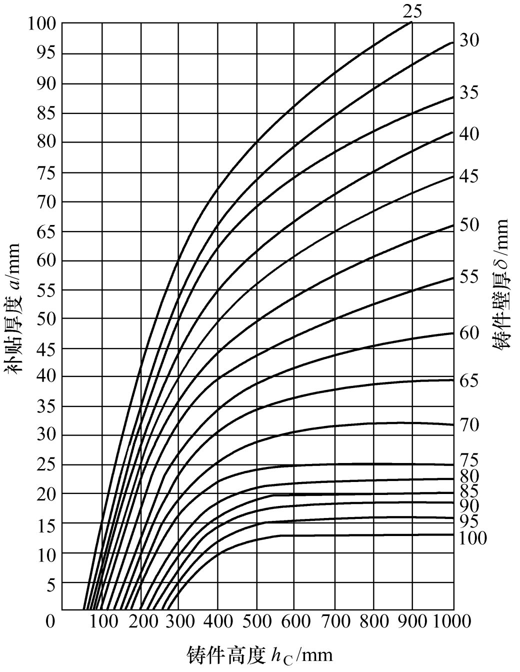


图3-19　补贴厚度与铸件壁厚和高度的关系曲线

补贴高度＝壁高－末端区

2）杆形铸件的补贴厚度。先按杆形件的壁厚从图3-19查得补贴厚度 a，再根据杆的宽厚比，从表3-94查得补偿系数，两者的乘积，即为杆形铸件补贴的总厚度。

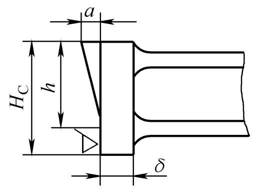
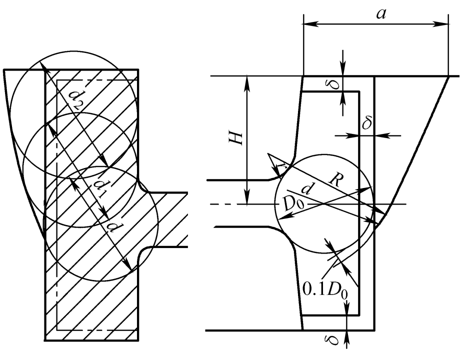
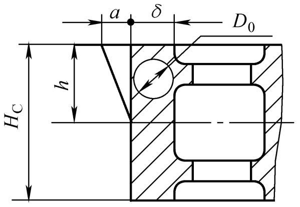
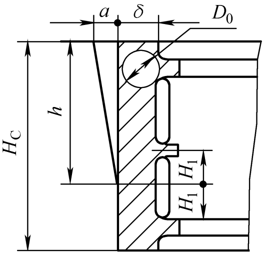
表3-94　杆形铸件补贴厚度的补偿系数

杆的断面宽∶厚比	补偿系数	杆的断面宽∶厚比	补偿系数
4∶1	1.0	1.5∶1	1.7
3∶1	1.25	1.1∶1	2.0
2∶1	1.5	—	—

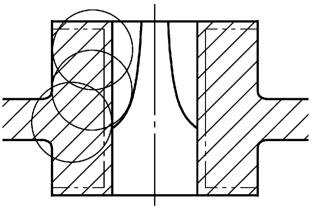
例如，杆形铸件的横截面的宽∶厚＝3∶1，厚度为30mm，高度为300mm，由图3-19查得补贴厚度为55mm。再从表3-94查得补偿系数为1.25，则该杆形铸件补贴的总厚度为55mm×1.25＝69mm。

3）铸钢件垂直补贴值的计算方法见表 3-95。

表 3-95　补贴尺寸的确定

序号	铸件名称和部位	图　　示	补贴尺寸/mm
1	横梁、辊道架等的端法兰	 δ—铸件加补贴处壁厚	$a = 0.15H_C$ $h = (3 \sim 5)a$ （法兰不加工时不放补贴）
2	单辐板齿轮轮缘	 a—铸件壁厚加补贴后尺寸　δ—加工余量	d 比接头热节圆直径 D_0 大 6% ~12% $d_1 = (1.05 \sim 1.1)d$ $d_2 = (1.05 \sim 1.1)d_1$ d_1 和 d_2 圆心分别在 d 和 d_1 的圆周上 或 $d = 1.1D_0 + 0.3H$ $R = r + 1.1D_0$ 下端与 R 所画圆弧相切
3	双辐板齿轮轮缘		$a = (D_0 - \delta) + H_C/6$ $H = H_C/2$
4	三辐板齿轮轮缘		$a = (D_0 - \delta) + H_C/6$ $H = H_C/2 + H_1$

（续）

序号	铸件名称和部位	图　示	补贴尺寸/mm
5	齿轮轮毂		采用作图法，其方法同轮缘补贴的扩大法

5. 冒口的补缩效率

（1）补缩效率的概念及其作用　冒口中缩孔体积（$V_{缩}$）与冒口本身体积（$V_{冒}$）之比，称为冒口的补缩效率 η。其作用是在冒口设计中，利用冒口的补缩效率检验所设计冒口的大小和数量是否合理。

（2）冒口补缩效率计算式　冒口补缩效率计算式为

$$\eta = \frac{V_{缩}}{V_{冒}} \quad 即 \quad V_{缩} = \eta V_{冒} \tag{3-5}$$

冒口中缩孔那部分钢液，除了补充冒口自身凝固收缩外，主要是用于补充铸件收缩的需要。这样，式（3-5）可以演变成如下形式：

$$V_{缩} = \eta V_{冒} = \varepsilon(V_{件} + V_{冒})$$

推导得

$$V_{件} = V_{冒} \times \frac{\eta - \varepsilon}{\varepsilon} \tag{3-6}$$

若将体积换算成重量，则式（3-5）可演变成下式：

$$G_{件} = G_{冒} \times \frac{\eta - \varepsilon}{\varepsilon} \tag{3-7}$$

式中　$V_{冒}$——冒口的体积（dm^3）；

$V_{缩}$——冒口中缩孔的体积（dm^3）；

$V_{件}$——被冒口补缩的铸件最大体积（dm^3）；

$G_{件}$——被冒口补缩的铸件最大重量（kg）；

$G_{冒}$——冒口的重量（kg）；

ε——钢的体收缩率（%），一般取 $\varepsilon = 4.2\% \sim 7.0\%$，生产中常把各种钢的体收缩率 ε 列表供查，见表 3-96。

η——冒口补缩效率（%），一般由试验得出。铸件无缩孔的不同类型冒口的补缩效率 η 不同，见表 3-97。

表 3-96　常用钢种的体收缩率 ε

钢种	ZG230-450（ZG25） ZG20MnSi	ZG270-500 （ZG35）	ZG20CrMo ZG35CrMo	ZG310-570（ZG45） ZG40Mo	ZG42SiMn
ε	4.2	4.7	5.0	5.2	5.6
钢种	ZG5CrMnMo	ZGMn13	ZG40Cr	ZG12Cr18Ni9Ti	
ε	5.8	6.3	6.7	6.81	

表 3-97　冒口补缩效率

冒口类型	明冒口边冒口	暗顶冒口	球形暗冒口	补浇冒口时	内浇道通入冒口	保温冒口	发热保温冒口	大气压力冒口	压缩空气冒口	气弹冒口
η(%)	14	15	20	15～20	30～35	25～30	30～45	15～20	35～40	30～35

将表 3-97 中的 η 值，代入式（3-6）和式（3-7）中，则得出各类冒口能补缩最大铸件的体积和最大重量公式：

圆柱形和腰圆形冒口：

$$V_{件} = V_{冒} \times \frac{14 - \varepsilon}{\varepsilon};\quad G_{件} = G_{冒} \times \frac{14 - \varepsilon}{\varepsilon} \tag{3-8}$$

暗顶冒口：

$$V_{件} = V_{冒} \times \frac{15 - \varepsilon}{\varepsilon};\quad G_{件} = G_{冒} \times \frac{15 - \varepsilon}{\varepsilon} \tag{3-9}$$

球形冒口：

$$V_{件} = V_{冒} \times \frac{20 - \varepsilon}{\varepsilon};\quad G_{件} = G_{冒} \times \frac{20 - \varepsilon}{\varepsilon} \tag{3-10}$$

其余依此类推。

（3）补缩效率的计算案例　有一大型环形铸钢件，材质 ZG270-500（ZG35），毛重 5100kg，设计为明冒口，冒口尺寸为 $\phi450 \times 600$mm，每个冒口重量 896kg，共三个冒口。验算冒口数目。

已知：铸钢件毛重 = 5100kg。冒口重量 $G_{冒}$ = 896kg。查表 3-96，得 ZG270-500（ZG35）钢凝固收缩率 $\varepsilon = 4.7\%$。

查表 3-97，得明冒口的补缩效率 $\eta = 14\%$。

代入式（3-7）中，则一个冒口最大能补缩的铸件重量为

$$G_{件} = G_{冒} \times \frac{\eta - \varepsilon}{\varepsilon} = 896\text{kg} \times \frac{14\% - 4.7\%}{4.7\%} = 1780\text{kg}$$

即一个冒口最大能的补缩铸件重量是 1780kg。

铸件毛重 5100kg，需要冒口数目 n 为

$$n = \frac{5100}{1780} = 2.86 \approx 3\ 个$$

即，验算结果表明：所设计冒口数目 3 个是合适的。

6. 工艺出品率

在冒口尺寸确定后，计算工艺出品率。用工艺出品率判断所设计冒口是否有足够的金属液补缩铸件。

（1）计算公式

$$工艺出品率 = \frac{铸件重量}{铸件重量 + 浇冒口重量} \times 100\%$$

浇注系统重量占铸件重量的 3%～6%。铸件重量为 500～600kg 时取 6% 左右，铸件重量≥25t 时取 3%。验算时，浇注系统也可不计入。

（2）工艺出品率的经验数据　工艺出品率是长期生产实践的成功经验总结，具有一定的实用价值。

1）齿轮类铸钢件的工艺出品率见表3-98。

表3-98　齿轮类铸钢件的工艺出品率

齿轮名称	铸件重量/kg	工艺出品率(%)		齿轮名称	铸件重量/kg	工艺出品率(%)	
		明冒口	暗冒口			明冒口	暗冒口
单辐板齿轮	≤250	43～52	46～55	锥齿轮	≤500	≈52	≈55
	251～500	45～55	48～58		501～1000	≈56	≈59
	501～2000	49～59	52～62		1001～2500	≈59	≈62
	＞2000	52～62	55～65		＞2500	≈62	—
双辐板齿轮	≤500	50～60	53～63	齿圈	≤3000	59～61	—
	501～2000	53～63	56～66		3001～10000	58～62	—
	2001～10000	54～64	—		10001～20000	59～63	—
	＞10000	56～66	—		＞20000	60～64	—

2）碳钢、低合金钢铸件的工艺出品率见表3-99。

表3-99　碳钢、低合金钢铸件的工艺出品率

序号	铸件结构特征		铸件毛重/kg	铸件主要壁厚/mm	工艺出品率(%)		
					普通明冒口	普通暗冒口	大气压力冒口
1	小件	加工量大	≤100	≤20 20～50 ＞50	65 61.5 58	67 63 60	取值需不小于暗顶冒口规定值
2		加工量小	≤100	≤20 20～50 ＞50	65 63 60	70 67 64	
3	中件	加工量大	100～500	≤30 30～60 ≥60	66 63 60	68 66 64	
4		加工量小	100～500	≤30 30～60 ≥60	67 65 63	70 68 66	
5	大件	加工量大	500～5000	≤50 50～100 ＞100	67 64 62	69 67 65	
6		加工量小	500～5000	≤50 50～100 ＞100	68 66.5 64	70 69 68	

（续）

序号	铸件结构特征		铸件毛重/kg	铸件主要壁厚/mm	工艺出品率(%)		
					普通明冒口	普通暗冒口	大气压力冒口
7	特大件	加工量大	>5000	≤50 50~100 >100	68 65.5 63.5	70 68 66	取值需不小于暗顶冒口规定值
8		加工量小	>5000	≤50 50~100 >100	69 67.5 66	71 70 69	
9	齿轮	机械加工齿	≤100 100~500 >500	—	— 56~59 56~60	58~62 59~62 59~62.5	
10	齿圈	机械加工齿	≤1000 >1000	—	57~60 59~61	59~61 60~62.5	
11		非加工齿	>1000	—	66~69	65~70	
12	圆筒 柱塞	内外加工	>1000	—	61~67	62~69	

注：1. 机械加工量大小，按 50% 为界限。
2. 没有考虑用冷铁。

（3）判据　如果计算出的工艺出品率小于表 3-98、表 3-99 中的数值，则说明冒口偏大了，虽能满足铸件补缩要求，但增加铸件成本；如大于表 3-98、表 3-99 中的数值，则说明冒口偏小了，铸件会产生缩孔、缩松。应据此调整冒口的尺寸和数量，使其工艺出品率在要求范围之内。对于质量要求高的铸件，工艺出品率可低一些。

3.5.3　铸钢件冒口

1. 铸钢件冒口和铸铁件冒口的区别

（1）铸钢件冒口大于铸铁件冒口　同一种结构铸件，铸钢冒口比铸铁冒口大。

（2）补缩通道区别　铸钢件补缩通道，是从凝固开始到凝固结束应一直存在；而铸铁件是在凝固初期（共晶转变以前）要存在，当大量共晶凝固开始后就不需要了。这是因为石墨化膨胀量足以补充其收缩量，因而用冒口补缩铸铁均匀板件和杆件时，一般不必加补贴。

（3）冒口颈大小有原则区别　铸钢件冒口颈一定要大于被补缩铸件的壁厚或热节，而灰铸铁件、球墨铸铁件冒口颈尺寸一定要小于铸件被补缩处的尺寸。一般只占被补缩处铸件壁厚的 60% ~70%，最大占 85%。这是为了使铸件在大量共晶凝固以前，冒口颈先凝固，形成一个封闭系统。共晶凝固开始后，充分利用石墨化膨胀力，达到自补缩作用。若灰铸铁件冒口颈尺寸大于被补缩处铸件尺寸，当共晶凝固开始

后，冒口颈还没有凝固，在石墨化膨胀力作用下，铁液可能反馈进入冒口，冷凝后在冒口根部往往出现缩孔和缩松。

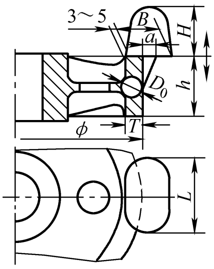
2. 冒口的计算方法

（1）比例法（又称热节圆法）　其经验性较强，简单可靠，工厂里普遍应用。通常是在零件图上加上加工余量和收缩率作图（最好1∶1），直接量出或计算出热解圆直径。再按一定经验比例，确定冒口补贴和冒口尺寸。此法适用于各种不同结构的铸钢件。

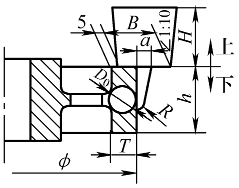
1）不同结构铸件的冒口尺寸

①齿轮轮缘的冒口尺寸比例见表3-100。

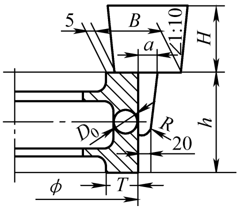
表3-100　齿轮轮缘的冒口尺寸比例



暗冒口



明冒口（单辐齿轮）



明冒口（双辐齿轮）

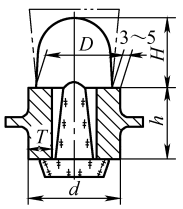
冒口尺寸比例(表图中 D_0 为热节圆直径)

轮缘厚度 T	冒口宽度 B	冒口长度 L	轮缘高度 h	冒口高度 H	
				暗冒口	明冒口
≤50	$T+a+30$	$(1.5\sim2)B$	≤150	$B+(0\sim50)$	$1.5h$
51～80	$T+a+(30\sim40)$		151～200	$B+(0\sim50)$	$1.4h$
81～120	$T+a+(40\sim80)$	$(1.5\sim2)B$	201～300	$B+(0\sim50)$	$1.3h$
			301～400	$B+(0\sim50)$	$1.2h$
121～180	$T+a+(60\sim100)$	$(1.5\sim2)B$	401～500	$B+(0\sim50)$	$1.15h$
			501～600	—	$(1\sim1.1)h$
>180	$T+a+(100\sim120)$	$(1.5\sim2)B$	601～650	—	$(0.8\sim0.9)h$
			651～900	—	$(0.7\sim0.8)h$
			>900	—	$0.6h$

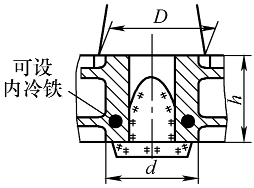
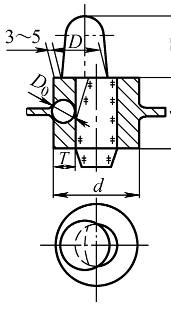
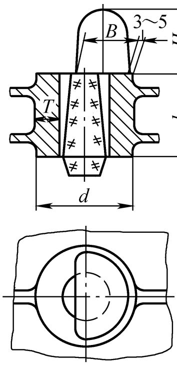
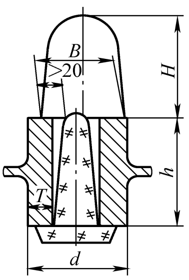
注：补贴 a 值见表3-95。

②齿轮轮毂的冒口尺寸比例见表3-101。

表3-101　齿轮轮毂的冒口尺寸比例

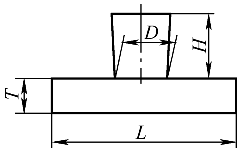
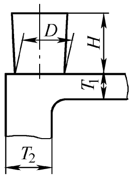
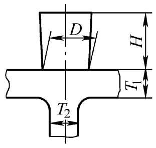
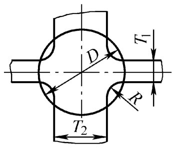
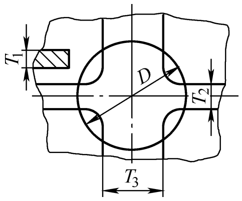
简　　图	轮毂尺寸范围	冒口直径 $D(B)$	冒口高度 H
	$h<d\leqslant180$mm	$D=d-(6\sim10)$mm	$H=h-30$mm
	$h>1.2d$ $d>180$mm		$H=D+(0\sim40)$mm
	$h>d\leqslant180$mm	$D=d-(6\sim10)$mm	可设明冒口，其高度与轮缘冒口同，且 $H\geqslant1.2D$

（续）

<table>
<tr><th>简　　图</th><th colspan="2">轮毂尺寸范围</th><th>冒口直径 D(B)</th><th>冒口高度 H</th></tr>
<tr><td rowspan="2">
</td><td colspan="2" rowspan="2">$h>2d$</td><td>$D>d$</td><td>可设明冒口，其高度与轮缘冒口同，且 $H\geq1.2D$</td></tr>
<tr><td colspan="2">轮毂部分的工艺出品率应＜70%</td></tr>
<tr><td rowspan="5">
</td><td rowspan="4">$d>180\text{mm}$</td><td>$h<\frac{d}{2}$</td><td>$D=2T$</td><td rowspan="4">$H=D+(0\sim40)\text{mm}$</td></tr>
<tr><td>$h<\frac{d}{2}$</td><td>$D=2.5T$</td></tr>
<tr><td>$h=\frac{3}{4}d$</td><td>$D=3T$</td></tr>
<tr><td>$h=d$</td><td>$D=3.5T$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$d\geq h$
且 T 较薄</td><td colspan="2">设 2 个以上冒口，冒口总长度等于轮毂周长 25% ~30%，冒口尺寸参数可参考上值</td></tr>
<tr><td rowspan="2">
</td><td colspan="2">$h=(1\sim1.2)d$</td><td>$B=(0.6\sim0.7)d$</td><td rowspan="2">$H=B+(0\sim50)\text{mm}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$h=(1.2\sim1.5)d$</td><td>$B=(0.7\sim1.0)d$</td></tr>
<tr><td>
</td><td colspan="4">当冒口 B 压过轴孔时，则型芯要深入冒口内，且与冒口一侧立面距离大于 20mm</td></tr>
</table>

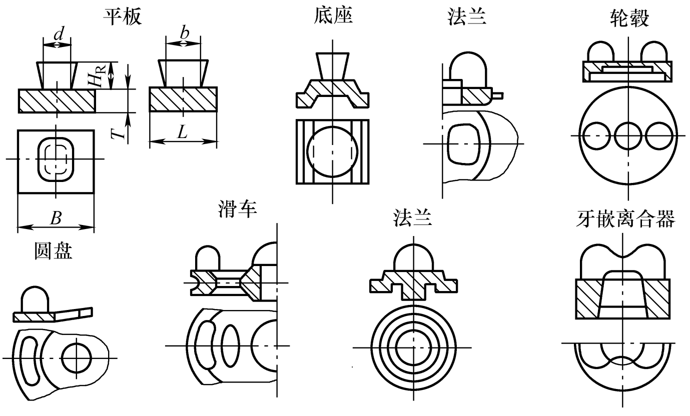
③某些铸钢件局部位置的冒口尺寸比例见表 3-102。

表 3-102　某些铸钢件局部位置的冒口尺寸比例

简　　图	冒口根部尺寸 D	冒口高度 H
	$\frac{L}{T}<4$ 时，$D=(1.8\sim2.2)T$ $\frac{L}{T}>4$ 时，$D=3T$	$H=(1.5\sim2.0)D$
	$D=2T_1+T_2$	$H=(1.5\sim2.0)D$
	$D=2T_1+1.5T_2$	$H=(1.5\sim2.0)D$
	$D=T_1+T_2+2R$	$H=(1.5\sim2.0)D$
	$D=2T_1+1.5(T_2+T_3)$	$H=(1.5\sim2.0)D$

④水平补缩时的冒口尺寸见表 3-103。

表 3-103　水平补缩时的冒口尺寸　　　　（单位：mm）



B—铸件宽度　L—铸件长度　b—冒口根部长度　d—冒口根部宽度

（续）

铸件厚度 T/mm	当 $H_R:d=1\sim1.5$ 时，$d:T$ 为			冒口形式	内浇道是否进入冒口
	1	1.2～1.25	1.5		
50～120	2.4～2.6	2.3～2.5	2.2～2.3	暗冒口	—
>120～200	2.2～2.5	2.1～2.4	2.0～2.3	暗冒口	是
				明冒口	是
>200～500	2.1～2.3	2.0～2.3	1.9～2.2	明冒口	是

注：1. 本表仅适用于碳素钢和低合金钢。当铸件的高度相对于长度和宽度小得多时，可认为冒口对这种铸件主要作水平方向补缩。

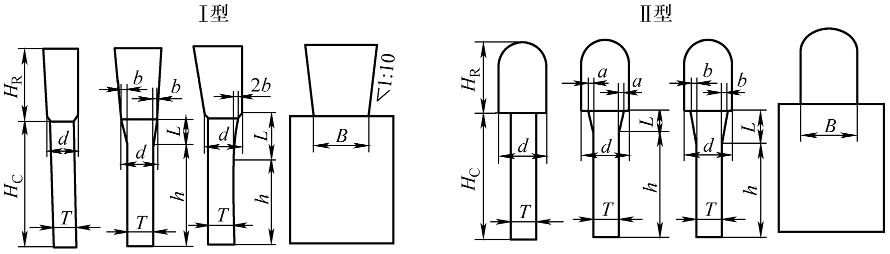
2. 当冒口补缩距离与冒口直径（或宽度）之比不大于 2 时，或补浇冒口时，$d:T$ 取低值或中间值。

3. 球形冒口取 $H_R:d=1$。

⑤垂直补缩时的冒口尺寸见表 3-104。

2）用工艺出品率核算冒口尺寸和数量，见 3.5.2 节。

表 3-104　垂直补缩时的冒口尺寸　（单位：mm）



T/mm	$H_C:T$	$d:T$		$H_R:d$		a	b≥	L	h≥
		Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅰ型	Ⅱ型				
60	3	1.3～1.8	1.6～2.1	1.2～1.3	1.1～1.2	4	4	50	H_C-50
	5	1.4～1.9	1.7～2.2	1.2～1.4	1.1～1.3	5	5	50	H_C-50
	8	1.5～2.0	1.8～2.3	1.2～1.5	1.2～1.5	10	10	H_C-6T	6T
100	3	1.2～1.6	1.5～2.0	1.2～1.3	1.1～1.2	5	5	60	H_C-60
	5	1.3～1.7	1.6～2.1	1.2～1.4	1.1～1.3	5	5	60	H_C-60
	8	1.4～1.8	1.8～2.3	1.2～1.5	1.2～1.5	15	15	H_C-6T	6T
200	3	1.2～1.4	1.4～1.9	1.1～1.3	1.0～1.2	5	5	60	H_C-60
	5	1.3～1.4	1.5～2.0	1.2～1.5	1.1～1.4	5	5	60	H_C-60
	8	1.3～1.5	—	—	—	—	—	—	5T
300	3	1.2～1.4	1.4～1.8	1.2～1.4	1.1～1.5	6	6	60	H_C-50
	5	1.2～1.5	—	—	—	—	6	—	H_C-50
	8	1.2～1.5	—	—	—	—	5	—	6T

注：1. 本表仅适用于碳素钢和低合金钢。当铸件的高度相对于其他方向的尺寸大得多时，则可认为冒口主要按垂直方向补缩铸件。

2. 采用点浇冒口时，$d:T$ 取下限。

3. 补贴 L 仅在冒口下方的模样部分（尺寸 B）作出。

（2）补缩液量法

1）补缩液量法的原理如图 3-20 所示。

2）冒口直径计算公式的建立。假设：①铸件的凝固速度和冒口的凝固速度相等，即不考虑铸件形状对凝固速度的影响，这样当铸件完全凝固时凝固层厚度为壁厚之半，冒口的凝固层厚度也为铸件厚度之半；②冒口内供补缩的金属液是直径为 d_0 的球，当铸件凝固完毕时，d_0 为冒口直径和铸件厚度之差。则：

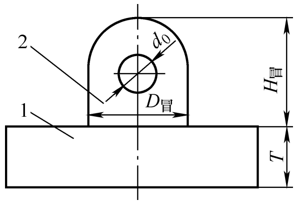


图 3-20　补缩液量法的原理

1—铸件　2—冒口

$$d_0 = D_冒 - T$$

$$D_冒 = d_0 + T \tag{3-11}$$

式中　d_0——冒口内供补缩的金属球直径（mm），$d_0 = \frac{1}{6}\pi d_0^3$；

$D_冒$——冒口直径（mm）；

T——铸件厚度（mm）。

由上式可知：消耗于补缩铸件的金属液体积是 $\frac{1}{6}\pi d_0^3$，这个体积应该等于铸件被补缩部分总的体积收缩值。即

$$\frac{1}{6}\pi d_0^3 = \varepsilon V_件$$

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{6\varepsilon V_件}{\pi}} \tag{3-12}$$

式中 ε 可由表 3-96 查得。只需算出铸件被补缩部分的体积 $V_件$。

3）冒口直径计算步骤。①查表得出体收缩率 ε；②计算铸件被补缩部分的体积 $V_件$；③通过公式 $d_0 = \sqrt[3]{\frac{6\varepsilon V_件}{\pi}}$ 计算补缩球的直径 d_0；④应用公式 $D_冒 = d_0 + T$，计算出冒口直径 $D_冒$。

（3）模数法　模数理论认为，模数是铸件凝固时间长短的标志。不管铸件形状如何，模数小则凝固时间短；模数大则凝固时间；模数相等，则凝固时间就相等或相近。根据这个理论，在冒口分布合理情况下，所选择冒口的模数大于铸件（或热节处）的模数，就能保证冒口晚于铸件（或热节）的凝固，从而获得内部组织致密的铸件。

铸件的体积与散热表面积的比值，称为凝固模数（简称模数）。用下式表示：

$$M = \frac{V}{A} \tag{3-13}$$

式中　M——模数（cm）；

V——体积（cm^3）；

A——散热表面积（cm^2）。

模数法设计冒口的具体程序如下：计算铸件模数 $M_件$→确定模数比→计算冒口模数→查表，确定冒口尺寸和重量→用补缩液量法进行验算。

1）计算铸件模数 $M_{件}$。先根据铸件特点，将复杂结构的铸件（或铸件上被补缩的部位）划分成若干简单的几何体（或加以简化），再参考第 13 章 13.13 节，算出铸件模数 $M_{件}$。

2）计算冒口模数 $M_{冒}$。根据冒口应晚于铸件凝固的原理，冒口模数 $M_{冒}$ 应大于铸件模数 $M_{件}$，则关系式为 $M_{冒}=fM_{件}$。不同类型冒口的模数计算见表 3-105。

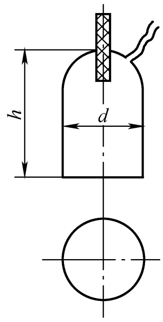
表 3-105　冒口模数 $M_{冒}$

冒口种类	f	冒口模数的计算	备　注
明冒口	1.2	$M_{明冒}=1.2M_{件}$	$M_{冒}$——冒口模数 $M_{颈}$——冒口颈模数 $M_{件}$——被补缩部分铸件模数 f——扩大系数，$f=1.1\sim1.2$ R——侧冒口半径
顶暗冒口	1.1	$M_{暗冒}=1.1M_{件}$	
侧冒口		$M_{冒}:M_{颈}:M_{件}=1.2:1.1:1$	
金属液经侧冒口进入型腔时		$M_{冒}:M_{颈}:M_{件}=1.2:(1.0\sim1.03):1$	
冒口颈长度		$L=2.4M_{件}=2M_{冒}<0.5R$	

3）根据计算的冒口模数、冒口颈的模数，可查标准冒口表，选择一个合适的标准冒口（尺寸）。

适于中小型铸钢件的部分标准圆柱形暗冒口表见表 3-106。

表 3-106　部分标准圆柱形暗冒口

图　示		
图　示		$h=1.5d$ $M_{冒}=0.190d$ $V_{冒}=1.047d^3$

冒　口					当收缩率 ε 为下值时，能不缩的最大铸件体积 $V_{件}$（重量 $G_{件}$）							
					4.5%		5%		6%		7%	
$M_{冒}$ /cm	a/mm	h/mm	$V_{冒}$ /dm³	$G_{冒}$ /kg	$V_{件}$/dm³	$G_{件}$/kg	$V_{件}$/dm³	$G_{件}$/kg	$V_{件}$/dm³	$G_{件}$/kg	$V_{件}$/dm³	$G_{件}$/kg
1.90	100	150	1.05	7.1	2.4	19	2.1	16	1.5	11	1.2	9.3
1.99	105	158	1.2	8.3	2.8	22	2.4	19	1.8	14	1.4	11
2.09	110	165	1.4	9.5	3.2	25	2.8	22	2.1	16	1.6	12
2.19	115	173	1.6	11	3.7	29	3.1	24	2.4	18	1.8	14
2.28	120	180	1.8	13	4.2	33	3.6	28	2.7	21	2.1	16
2.38	125	188	2	14	4.7	37	4.1	32	3	23	2.3	18
2.47	130	195	2.3	16	5.3	41	4.6	36	3.4	26	2.6	20

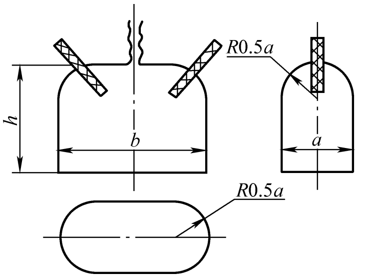
（续）

冒口					当收缩率 ε 为下值时，能不缩的最大铸件体积 $V_件$（重量 $G_件$）							
$M_冒$ /cm	a/mm	h/mm	$V_冒$ /dm^3	$G_冒$ /kg	4.5%		5%		6%		7%	
					$V_件$/dm^3	$G_件$/kg	$V_件$/dm^3	$G_件$/kg	$V_件$/dm^3	$G_件$/kg	$V_件$/dm^3	$G_件$/kg
2.57	135	203	2.6	18	6	47	5.1	40	3.8	29	2.9	23
2.66	140	210	2.8	20	6.7	52	5.7	44	4.3	33	3.3	26
2.76	145	218	3.2	22	7.4	58	6.3	49	4.8	37	3.6	28
2.85	150	225	3.5	24	8.1	63	7	54	5.3	41	4	31
2.95	155	233	3.9	27	9.1	71	7.8	61	5.8	45	4.4	34
3.04	160	240	4.3	29	9.9	77	8.5	66	6.4	50	4.9	39
3.14	165	248	4.7	32	11	85	9.4	73	7	55	5.3	41
3.23	170	255	5.1	35	12	93	10	79	7.7	60	5.8	45
3.33	175	263	5.6	38	12.8	100	11	87	8.4	65	6.4	50
3.42	180	270	6.1	42	14.2	111	12.2	94	9	70	6.9	54
3.52	185	278	6.6	45	15.5	121	13.2	103	10	77	7.6	59
3.61	190	285	7.2	49	16.7	130	14	111	10.7	83	7.8	63
3.71	195	293	7.8	53	18	140	15.5	121	11.6	90	8.8	68
3.81	200	300	8.4	57	19.5	152	16.8	12.5	12.5	97	9.6	75

适于中小型铸钢件的部分标准腰形暗冒口表见表3-107。

表3-107　部分标准腰形暗冒口

图　示



$b=2a$

$h=1.5a$

$M_冒=0.242a$

$V_冒=2.439a^3$

冒口						当收缩率 ε 为下值时，能不缩的最大铸件体积 $V_件$（重量 $G_件$）							
$M_冒$/cm	a/mm	b/mm	h/mm	$V_冒$ /dm^3	$G_冒$ /kg	4.5%		5%		6%		7%	
						$V_件$/dm^3	$G_件$/kg	$V_件$/dm^3	$G_件$/kg	$V_件$/dm^3	$G_件$/kg	$V_件$/dm^3	$G_件$/kg
2.42	100	200	150	2.4	17	5.6	44	4.8	37	3.6	28	2.7	21
2.54	105	210	158	2.8	19	6.5	51	5.6	43	4.1	32	3.2	25
2.66	110	220	165	3.2	22	7.5	58	6.5	50	4.8	37	3.7	29
2.78	115	230	173	3.7	25	8.6	67	7.4	58	5.5	43	4.2	33

（续）

冒口						当收缩率 ε 为下值时，能不缩的最大铸件体积 $V_{件}$（重量 $G_{件}$）							
$M_{冒}$/cm	a/mm	b/mm	h/mm	$V_{冒}$/dm^3	$G_{冒}$/kg	4.5%		5%		6%		7%	
						$V_{件}$/dm^3	$G_{件}$/kg	$V_{件}$/dm^3	$G_{件}$/kg	$V_{件}$/dm^3	$G_{件}$/kg	$V_{件}$/dm^3	$G_{件}$/kg
2.90	120	240	180	4.2	29	9.8	76	8.4	65	6.3	49	4.8	37
3.02	125	250	188	4.7	33	11	86	9.5	74	7.1	55	5.4	42
3.14	130	260	195	5.3	36	12	96	11	85	7.9	61	6	47
3.26	135	270	203	5.9	41	13.9	108	11.9	92	8.9	69	6.7	52
3.38	140	280	210	6.6	45	15.4	120	13	101	9.9	77	7.6	59
3.51	145	290	218	7.4	51	17	134	14.8	115	11	85	8.4	65
3.63	150	300	225	8.2	57	19	149	16	125	12	93	9.3	72
3.75	155	310	233	9.1	62	21.2	165	18	140	13.5	105	10.4	81
3.87	160	320	240	10	68	23	179	20	155	51	117	11.3	88
3.99	165	330	248	11	74	25.4	198	21.8	170	16.3	127	12.5	97
4.11	170	340	255	11.9	81	27.7	214	23.8	185	17.8	139	14	109
4.23	175	350	263	13	89	30	234	26	203	19.5	152	15.4	120
4.35	180	360	270	14	96	32.8	256	28	219	21	163	16.7	130
4.47	185	370	278	15.3	104	35.6	278	30.6	238	23	180	18	140
4.59	190	380	285	16.6	113	38.6	300	33	259	24.8	193	19.7	153
4.72	195	390	293	18	122	42.8	334	36	281	27	211	20.5	160
4.84	200	400	300	19.4	132	45	352	38.8	303	29	226	22	172

4）根据冒口的有效补缩距离校核冒口的数目。

5）校核冒口的补缩能力。铸钢件的冒口，除必须具备畅通的补缩通道、满足晚于铸件凝固外，还必须有足够钢液量补偿铸件的体收缩。用公式 $V_{件}=V_{冒}\times\dfrac{14-\varepsilon}{\varepsilon}$ 或公式 $G_{件}=G_{冒}\times\dfrac{14-\varepsilon}{\varepsilon}$ 校核冒口的补缩能力。

若算出的数值大于被补缩铸件（或冒口担负的补缩的那部分）的实际体积，说明冒口补缩能力有余。

若算出的数值小于被补缩铸件（或冒口担负的补缩的那部分）的实际体积，说明冒口补缩能力不足，需要增大冒口尺寸，直到能满足对铸件的补缩为止。

也可以直接查有关手册，查得冒口最大补缩重量与被补缩铸件重量的关系，来校对冒口的补缩能力。

3. 特种冒口

常用的特种冒口有：大气压力冒口、保温冒口、发热冒口、易割冒口等。

（1）大气压力冒口　大气压力冒口是指通过砂芯或尖角砂型，保持冒口内与大

气连通的暗冒口，如图 3-21 所示。浇注后，冒口表面结壳，外界大气压力通过砂芯的孔隙作用在冒口内部液面上，形成由大气压力和冒口液柱重力共同作用，增强了冒口的补缩效果。

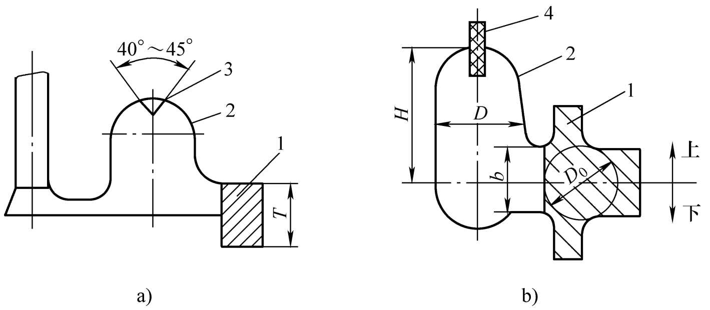


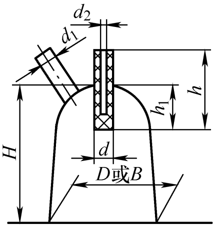
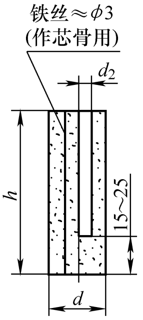
图 3-21　大气压力冒口

a）带锥尖角砂的冒口（适用于中、小铸铁件机器造型）　b）带砂芯的冒口（多用于铸钢件）

1—铸件　2—大气压力冒口　3—锥尖角砂　4—大气压砂芯

大气压力冒口顶部的砂芯和出气孔的尺寸见表 3-108。

表 3-108　大气压力冒口的砂芯和出气孔的尺寸　　（单位：mm）

简图	 大气压力冒口		 砂芯		
D 或 B	砂芯直径 d		砂芯高度 h	气孔直径 d_2	冒口出气孔直径 d_1
	圆柱形冒口	腰圆形冒口			
<100	ϕ12	ϕ15	90(120)	ϕ3	ϕ20
100～130	ϕ15	ϕ15×2 个	120	ϕ3	ϕ20
140～190	ϕ20	ϕ20×2 个	140	ϕ4	ϕ20×2 个
200～250	ϕ25	ϕ25×2 个	190	ϕ4.5	ϕ25×2 个
260～300	ϕ30	ϕ30×2 个	220	ϕ4.5	ϕ30×2 个
>300	ϕ35	ϕ35×2 个	250	ϕ5	ϕ30×2 个
砂芯配比(质量分数,%)：①硅砂 100＋膨润土 3＋水泥 15＋适量水；②硅砂 70＋水泥 30＋水适量					

（2）保温冒口　采用热导率和堆密度非常小的保温材料作为冒口的造型材料，就可以减小冒口的直径，称为保温冒口。

保温冒口常做成保温冒口套的形式。保温冒口套的种类（按主要成分分类）有：①珍珠岩复合型保温套、②纤维复合型保温套、③空心微珠复合型保温套、④陶粒保温套。

保温冒口套的堆密度一般控制在 0.6 ~ 0.8g/cm³，保温冒口套的厚度一般等于保温冒口模数的 1 ~ 1.5 倍。保温冒口的补缩效率 η = 25% ~ 45%。

对于明保温冒口，也要在冒口顶部覆盖发热保温剂或保温剂（如炭化稻壳、柳毛石墨粉、保温套碎片等，保温剂用量为冒口重量的 1% ~ 1.7%）。

保温冒口的尺寸计算：

$$M_R = (0.92 \sim 0.85)M_C \tag{3-14}$$

$$V_F = (0.25 \sim 0.45)V_R \tag{3-15}$$

式中　M_R——保温冒口的模数（cm）；

M_C——铸件的模数（cm）；

V_F——保温冒口中的缩孔体积（cm³）；

V_R——保温冒口初始体积（cm³）。

按照式（3-14）计算得出的冒口，同时又能满足式（3-15）的要求，则该冒口就是合适的冒口。

保温冒口计算案例：如图 3-22 所示的厚实铸件。铸件重量 546kg，铸件体积 70dm³，铸件模数 M_C = 5cm，体收缩率 ε = 5%。采用保温冒口，试计算保温冒口尺寸。

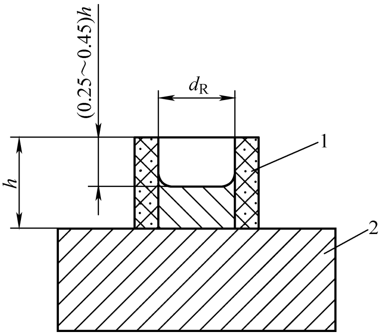


图 3-22　厚实铸件的保温冒口

1—保温冒口　2—厚实铸件

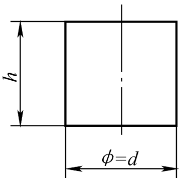
计算：

1）铸件所需要的补缩液量 V_S = 70dm³ × 5% = 3.5dm³。

2）计算保温冒口模数 M_R：按式（3-14）取 $M_R = 0.8M_C$，则保温冒口模数 M_R = 0.8 × 5cm = 4cm。

3）查表 3-109 得保温冒口尺寸：ϕ240mm × 240mm（高）。该冒口的模数 M_R = 4cm，体积 V_R = 10.8dm³。

表 3-109　部分标准圆柱形保温小明冒口（$h = d$）

简　图		$h = d$ $M_R = 0.1667d$ $V_R = 0.785d^3$

（续）

冒口				当收缩率 ε 为下列值时，最大能补缩的铸件体积 V_C 和重量 G_C							
M_R /cm	$d=h$ /mm	V_R /dm^3	G_R /kg	4.5%		5%		6%		7%	
				V_C/dm^3	G_C/kg	V_C/dm^3	G_C/kg	V_C/dm^3	G_C/kg	V_C/dm^3	G_C/kg
1.66	100	0.785	5.4	1.66	12.9	1.41	11	1.04	8.1	0.78	6.1
1.81	110	1.05	7.1	2.2	17.2	1.88	14.7	1.39	10.8	1.04	8.1
2.00	120	1.36	9.2	2.86	22.3	2.44	19	1.8	14	1.36	10.6
2.17	130	1.72	11.7	3.64	28.4	3.10	24.3	2.29	17.9	1.72	13.5
2.33	140	2.15	14.6	4.54	35.4	3.88	30.2	2.86	22.3	2.15	16.8
2.50	150	2.65	18	5.59	43.6	4.77	37.5	3.52	27.5	2.65	20.7
2.67	160	3.2	22	6.78	53	5.79	45	4.27	33.4	3.2	25
2.83	170	3.86	26.2	8.14	63.5	6.94	54	5.13	40	3.86	30
3.00	180	4.58	31	9.66	75.3	8.24	64.3	6.9	47.5	4.58	35.7
3.16	190	5.4	37	11.4	88.6	9.7	75.6	7.16	55.8	5.38	42
3.33	200	6.3	43	13.2	103	11.3	88	8.35	65	6.3	49
3.50	210	7.27	49.5	15.4	120	13	102	9.67	75.4	7.27	56.7
3.66	220	8.36	57	17.6	137	15	117	11.1	87	8.36	65
3.83	230	9.55	65	20.1	157	17.2	134	12.7	99	9.55	74.5
4.00	240	10.8	74	22.9	178	19.5	152	14.4	113	10.8	84
4.16	250	12.3	84	25.9	202	22	172	16.3	127	12.3	96
4.33	260	13.8	94	29	227	24.8	194	18.3	143	13.8	107
4.50	270	15.4	105	32.6	254	27.8	217	20.5	160	15.4	120
4.66	280	17.2	117	36.4	284	31	242	22.9	179	17.2	134
4.83	290	19.1	130	40.4	315	34.5	269	25.5	199	19.1	149
5.00	300	21.2	144	44.7	349	38.2	297	28.2	300	21.2	165

4）验算：冒口模数已满足铸件对保温冒口模数的要求，但能否满足对铸件补缩液量的要求，还要通过式（3-15）进行验算。

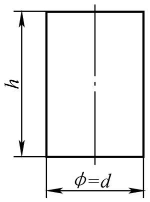
取保温冒口中的缩孔体积 $V_F=0.25V_R=0.25\times10.8dm^3=2.7dm^3$。

判断：因 $V_F<V_S$，故冒口不够大。需要从表 3-109（或表 3-110）中找一个较大的冒口以满足 $V_F\geqslant V_S$。

（3）发热冒口　发热冒口包括两种：发热套冒口和发热剂冒口。发热套冒口是指在铸型内安装发热和保温材料做成的，其内壁与冒口外形相同的保温套。发热剂冒口是指在普通冒口的上表面上撒入和覆盖发热剂。两者的作用相同，都是起加热钢液的作用。见表 3-111。

表3-110　部分标准圆柱形保温明冒口（$h=1.5d$）

简　　图



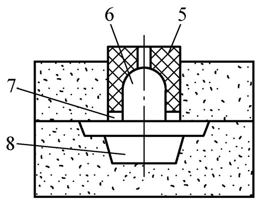
冒口高度 $h=1.5d$

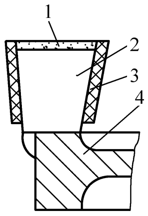
冒口模数 $M_R=0.187d$

冒口体积 $V_R=1.18d^3$

冒口					当收缩率 ε 为下列值时，最大能补缩的铸件体积 V_C 和重量 G_C							
M_R /cm	d /mm	h /mm	V_R /dm^3	G_R /kg	4.5%		5%		6%		7%	
					V_C/dm^3	G_C/kg	V_C/dm^3	G_C/kg	V_C/dm^3	G_C/kg	V_C/dm^3	G_C/kg
1.87	100	150	1.18	8	2.49	19.4	2.21	16.6	1.57	12	1.2	9.2
2.05	110	165	1.57	11	3.3	25.8	2.8	22	2.1	16	1.57	12
2.24	120	180	2.04	14	4.3	33.6	3.67	28.6	2.7	21	2.04	16
2.43	130	195	2.6	18	5.5	43	4.67	36.5	3.45	27	2.6	20
2.62	140	210	3.24	22	6.8	53	5.8	45.5	4.3	33.6	3.24	25
2.80	150	225	3.98	27	8.4	65.5	7.1	56	5.3	41.3	3.98	31
2.99	160	240	4.83	33	10.2	79.5	8.7	68	6.4	50	4.83	37.7
3.18	170	255	5.79	39	12.2	95	10.4	81	7.7	60	5.8	45
3.36	180	270	6.88	47	14.5	113	12.4	96	9.15	71	6.88	53
3.55	190	285	8	55	17	133	14.6	113	10.7	84	8	63
3.74	200	300	9.44	64	18	155	17	132	12.6	98	9.44	74
3.93	210	315	10.9	74	23	180	19.7	153	14.5	113	10.9	85
4.11	220	330	12.6	85	26.5	207	22.6	176	16.7	130	12.6	98
4.30	230	345	14.4	98	30	230	25.8	201	19	149	14.4	112
4.49	240	360	16.3	111	34.4	268	29.4	229	21.7	169	16.3	127
4.67	250	375	18.4	125	39	303	33	259	24.5	191	18.4	144
4.86	260	390	20.7	141	44	341	37	291	27.6	215	20.7	162
5.05	270	405	23	158	49	382	42	326	31	241	23	181
5.23	280	420	25.9	176	54.7	426	46.6	364	34.5	269	25.9	202
5.42	290	435	28.8	196	61	471	52	404	38	298	28.8	224
5.61	300	450	31.6	217	67	524	57	447	42.4	330	32	248

表 3-111　发热保温冒口

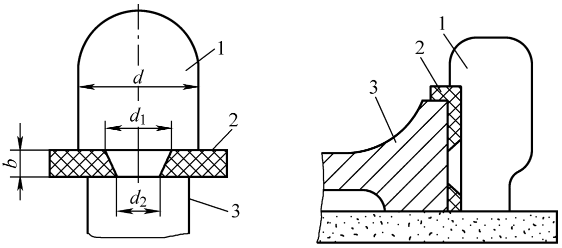
<table>
<tr><td>简图</td><td colspan="3">

暗冒口


明冒口
1—保温剂　2—明冒口　3、5—发热保温套　4—铸件　6—暗冒口　7—砂圈</td></tr>
<tr><td rowspan="6">发热冒口套</td><td colspan="3">发热冒口套材料由发热剂、保温剂、粘结剂组成</td></tr>
<tr><td rowspan="3">材料</td><td>发热剂</td><td>1）发热剂一般由铝粉、硅铁粉、氧化铁皮组成。单是铝粉和氧化皮的混合物称铝热剂
发热剂配方（质量分数）　（%）
<table>
<tr><td rowspan="2">序号</td><td>三氧化二铁粉</td><td>铝粉</td><td rowspan="2">硅砂</td><td rowspan="2">三氧化二铝粉</td><td rowspan="2">氧化镁粉</td><td rowspan="2">硝酸钾</td></tr>
<tr><td colspan="2">（粒度 1.5 ~2mm）</td></tr>
<tr><td>1</td><td>45</td><td>30</td><td>20</td><td>5</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>2</td><td>70</td><td>17</td><td>10</td><td>3</td><td>若干</td><td>—</td></tr>
<tr><td>3</td><td>48</td><td>18</td><td>30</td><td>—</td><td>—</td><td>4</td></tr>
</table>
发热冒口套配方（质量分数）　（%）
<table>
<tr><td>铝粉</td><td>氧化铁皮</td><td>铝镁合金</td><td rowspan="2">耐火砖粉</td><td rowspan="2">硅砂</td><td rowspan="2">粘土</td><td rowspan="2">纸浆</td></tr>
<tr><td colspan="3">（粒度 1 ~2mm）</td></tr>
<tr><td>19</td><td>43</td><td>4.8</td><td>7</td><td>19</td><td>3.6</td><td>3.6</td></tr>
</table>
2）发热剂需要加热到 1250℃以上才起反应放热。这对铸钢件大冒口容易达到。对铸铁件、铜合金铸件尚有困难，因而，对这类合金使用的发热套中，需加入羟氧化剂硝酸钠、硝酸钾和点火剂
3）发热剂重量占冒口中钢液重量的 20%，以保证冒口中钢液重量（体积）的 2/3 补给铸件</td></tr>
<tr><td>保温剂</td><td>1）常用的保温材料有：膨胀珍珠岩、蛭石、大孔陶粒、电厂灰、陶瓷、木炭及锯木屑
2）作用：延长发热剂的燃烧时间和保温</td></tr>
<tr><td>粘结剂</td><td>常用水玻璃、膨润土、矾土水泥、酚醛树脂</td></tr>
<tr><td colspan="2">特点</td><td>1）暗冒口发热套，其根部留有 10 ~40mm 的普通砂圈，以防发热套与钢液直接接触，产生粘砂和增碳
2）明冒口发热套，在浇满后应在冒口顶面撒入发热保温剂，以防冒口散热过快</td></tr>
<tr><td colspan="2">应用</td><td>适于中、大型冒口</td></tr>
</table>

（4）易割冒口　易割冒口是指冒口根部放有易割片的冒口。易割片很薄，中间有补缩孔，见表3-112。

表 3-112　易割片材料及主要尺寸　　（单位：mm）

<table>
<tr><td>简图</td><td colspan="4">

a)　b)
a）顶冒口　b）侧冒口
1—冒口　2—易割片　3—铸件</td></tr>
<tr><td rowspan="6">易割片
主要尺寸</td><td>冒口直径 d</td><td>易割片厚度 b</td><td>补缩径大端直径 d_1</td><td>补缩径小端直径 d_2</td></tr>
<tr><td>80</td><td>6</td><td>30</td><td>25</td></tr>
<tr><td>100</td><td>7</td><td>34</td><td>30</td></tr>
<tr><td>120</td><td>7</td><td>40</td><td>34</td></tr>
<tr><td>150</td><td>8</td><td>40</td><td>34</td></tr>
<tr><td>180</td><td>10～12</td><td>46</td><td>40</td></tr>
<tr><td>易割片
材料</td><td colspan="4">配方（质量分数）　（%）
<table>
<tr><td>序号</td><td>白泥</td><td>粘土</td><td>耐火泥</td><td>膨润土</td><td>耐火砖粉</td><td>磷酸</td><td>水</td></tr>
<tr><td>1</td><td>16～20</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>80～84</td><td>5.6～5.8</td><td>适量</td></tr>
<tr><td>2</td><td>—</td><td>15</td><td>60</td><td>10</td><td>15</td><td>—</td><td>12</td></tr>
</table>
注：序号1：混碾均匀后，在芯盒内成型，自然干燥24～48h，在300～400℃下烘干3h，即可使用
序号2：混碾后成型，自然干燥24h，在1000～1100℃下干燥烧结，保温2～3h，随炉冷却</td></tr>
<tr><td>应用</td><td colspan="4">此种冒口对于某些不宜用机械方法切割而使用气割又易产生裂纹的高合金铸钢（如高锰钢铸件）更为适合</td></tr>
</table>

3.5.4 铸铁件冒口

任何铸铁件的补缩工艺，都应该以自补缩为基础。铸铁件的冒口不必要晚于铸件凝固，冒口模数可以小于铸件的壁厚或模数；越是薄小件越是要强调补缩，补缩措施可利用浇注系统（对薄小件），也可以利用专设的冒口（对厚小件）。厚大件补缩要求低，可以用小冒口和无冒口工艺；铸铁件的冒口不应该放在铸件的热节上。冒口要靠近热节，以利于补缩；但冒口不要恰好在热节上，以减少冒口对铸件的热干扰。冒口要适当离开铸件的几何热节（均衡凝固工艺）。内浇道根部、冒口根部和铸件热节不能重合；浇冒口的开设要避免形成接触热节；铸件的厚壁热节放在浇注位置的下部，厚薄相差较大时，厚壁处安放冷铁，铸件可不安放冒口；如果大平面处于上箱，可采用溢流冒口来保证大平面的表面质量，耳冒口、飞边冒口的冒口颈短、薄、宽，是溢流冒口的最好形式。

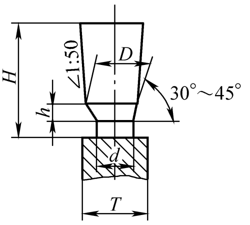
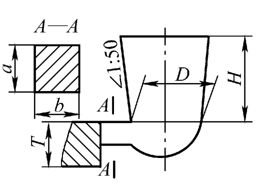
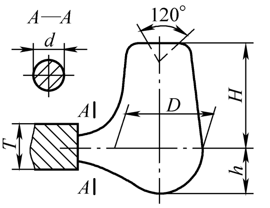
1. 灰铸铁件冒口

（1）冒口补缩距离　灰铸铁在凝固过程中的石墨化膨胀，可以抵消部分或全部凝固时的体收缩，因而缩孔、缩松的倾向小。冒口主要用于补充液态收缩。一般低牌号或小型、截面均匀的灰铸铁件可不设冒口，只设出气孔。而对一些碳、硅含量较低的高强度铸铁、合金铸铁及厚壁铸铁件，仍需设置冒口补缩，不过比铸钢冒口要小得多。灰铸铁的有效补缩距离，一般为冒口直径的 6 ~ 10 倍，或热节圆直径的 10 ~ 17 倍。

（2）灰铸铁件的冒口尺寸

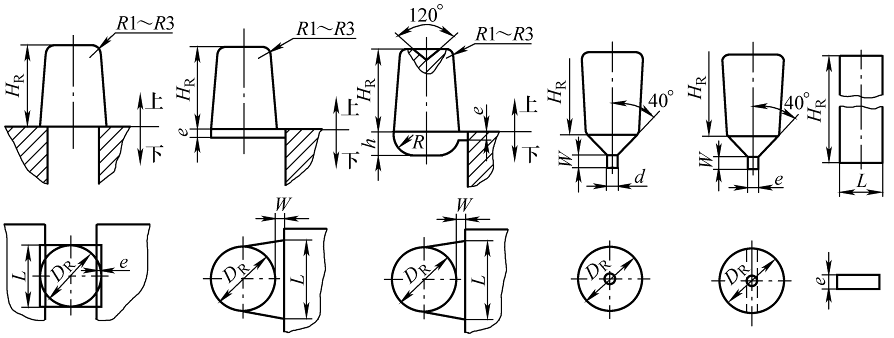
1）灰铸铁件常用冒口的形式和尺寸比例见表 3-113。

表 3-113　灰铸铁件常用冒口的形式和尺寸比例

冒口形式	明冒口		暗边冒口
	明顶冒口	明边冒口	
简图			
冒口直径 D	$D=(1.2\sim2.5)T$	$D=(1.2\sim2.5)T$	$D=(1.2\sim2.0)T$
冒口高度 H	$H=(1.2\sim2.5)D$	$H=(1.2\sim2.5)D$	$H=(1.2\sim1.5)D$
冒口颈直径 d 或长、宽尺寸 a、b	$d=(0.8\sim0.9)T$	$a=(0.8\sim0.9)T$ $b=(0.6\sim0.8)T$	$d=(0.33\sim0.5)T$（浇道通冒口） $d=(0.5\sim0.66)T$（浇道不通冒口）
冒口底部高度 h	$h=(0.3\sim0.35)D$		$h=0.3H$
说明	1）T 为铸件的厚度，或热节圆直径 2）明冒口高度 H 可根据砂箱高度适当调整 3）随明顶冒口直径 D 的增大，冒口颈处的角度取小值		

2）粘土砂湿型灰铸铁件的冒口系列见表 3-114。

表 3-114　粘土砂湿型灰铸铁件的冒口系列



压边冒口　耳冒口　飞边冒口　缩颈冒口　鸭嘴冒口　出气冒口

（续）

冒口类型			冒口因数							H_R	
			在下列铸件重量(kg)下的 K_1			K_2	K_3	e	W		
			>5~50	>50~150	>150					<20	20~50
暗冒口	热冒口	压边冒口	1.05~1.5	—	—	1.0~1.5	—	3~6	—	90~350 e	350~600 e
暗冒口	热冒口	耳冒口	1.05~1.5	—	—	1.2~1.5	—	5~8	5~10	90~350 e	350~600 e
暗冒口	热冒口	飞边冒口	1.05~1.5	—	—	1.2~1.5	0.25~0.3	5~3	5~10	90~350 e	350~600 e
暗冒口	冷冒口	压边冒口	1.1~2.5	1.0~2.0	0.8~1.5	1.4~2.0	—	5~8		K_4=1.2~1.8	
暗冒口	冷冒口	耳冒口	1.1~2.5	1.0~2.0	0.8~1.5	1.4~2.0	—	8~12	5~10	K_4=1.2~1.8	
暗冒口	冷冒口	飞边冒口	1.1~2.5	1.0~2.0	0.8~1.5	1.4~2.0	0.25~0.5	8~12	5~10	K_4=1.2~1.8	
明冒口	冷冒口	顶缩颈冒口	1.5~3	1.2~2.5	1.0~2.0	>1.5~2	0.25~0.3	—	5~10	(1.5~2.5)D	
明冒口	冷冒口	鸭嘴楔形冒口	1.5~3	1.2~2.5	1.0~2.0	>1.5~2	—	5~8 8~10	5~10	(1.5~2.5)D	
明冒口	冷冒口	出气冒口	—	—	—	H> 120~150	—	5~8 8~10		50~70 70~100	

注：1. 推荐冷冒口的冒口颈总面积大于或等于内浇道截面积，L越大，溢流效果越好。

2. 实块类铸铁件冒口因数取下限，有局部热节薄壁类铸件冒口因数取上限。

3. $D_R=K_1T$ 或 $D_R=K_1\delta_C$，$H_R=K_2D_R$；$d=K_3D_R$（顶缩颈冒口）或 $h=K_3D_R$（飞边冒口）；

$H_R=K_4D_R$（冷冒口）或 $H_R=A_{内}/e$（热冒口）；

式中 δ_C—设置处铸件壁厚；

$A_{内}$—内浇道总截面积；

T—热节圆直径。

4. 表中：e—冒口颈的厚度；W—冒口与铸件的距离。

2. 可锻铸铁件冒口

（1）冒口补缩距离　可锻铸铁在铸态呈白口组织，体收缩大。广泛采用边暗冒口，内浇道经冒口将金属流入型腔，以加强补缩。可锻铸铁冒口的补缩距离是铸件厚度的4~4.5倍，厚壁铸件取下限。

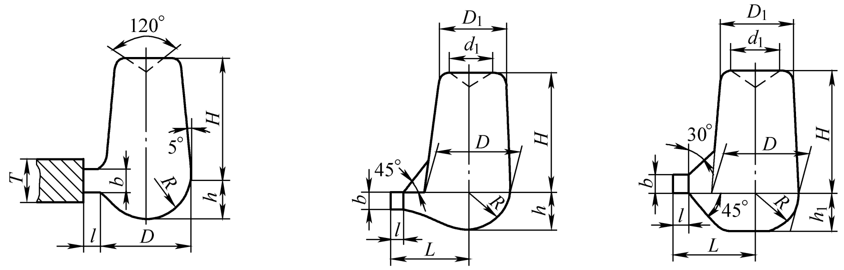
（2）可锻铸铁件的边暗冒口尺寸

1）可锻铸铁件的侧冒口尺寸见表3-115。

2）可锻铸铁管接头的侧冒口尺寸见表3-116。

表 3-115　可锻铸铁件的侧冒口尺寸　　（单位：mm）

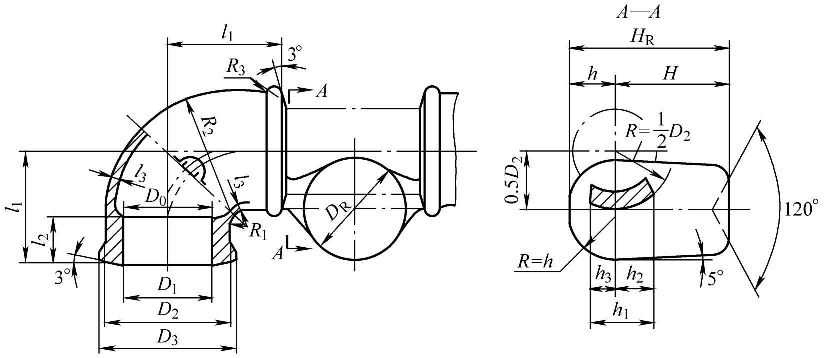
简图



中、小件冒口　　　　大件冒口

尺寸	D	$(3\sim5)T$	D	D_1	d_1	H	h	h_1	l	L	R
	H	$(1.25\sim1.5)D$	60	50	40	75	30	18	4	50	30
	h	$(0.25\sim0.3)H$	75	65	40	100	37.5	20	4	60	37.5
	b	$(0.7\sim0.8)T$	90	75	50	120	45	28	5	80	45
	l	3~6mm									

表 3-116　可锻铸铁管接头的侧冒口尺寸　　（单位：mm）



铸件										冒口						
D_0	D_1	D_2	D_3	R_1	R_2	R_3	l_1	l_2	l_3	D_R	H_R	H	h	h_1	h_2	h_3
—	10	17.1	20.1	4	17.1	1.5	20.1	8.5	2.2	12~16	19	15	4	8	4	4
—	13.5	20.6	23.6	4	20.6	1.5	23.1	9.5	2.2	12~16	24	19	5	10	5	5
—	16.3	25.7	28.7	5	25.7	1.5	26,15	11	2.5	12~16	26	20	6	12	6	6
21.6	22.4	31.2	34.7	5	31.2	1.7	31.2	12.5	2.5	30	46	34	12	16	9	7
27.2	28	38.3	41.8	6	38.3	1.7	35.2	14	2.7	32	50	36	14	20	12	8
35.7	36.7	47.3	51.3	6	41.3	2	42.3	16	3	34	56	40	16	25	15	10
41.5	42.6	54.3	58.4	7	54.3	2	48.5	18	3.5	36	63	45	18	28	16	12
52.8	54	66.4	71.4	7	66.4	2.5	55.5	19	3.8	40	70	50	20	34	20	14
68.3	69.7	82.5	81.5	8	82.5	2.5	65.4	22	4	44	85	60	25	38	22	16

（续）

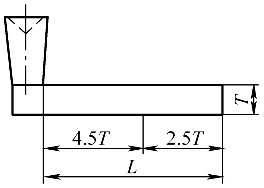
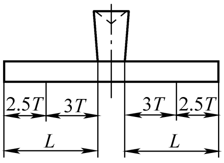
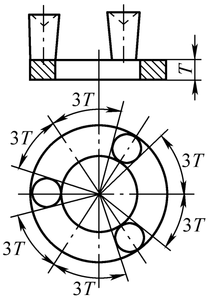
铸件										冒口						
D_0	D_1	D_2	D_3	R_1	R_2	R_3	l_1	l_2	l_3	D_R	H_R	H	h	h_1	h_2	h_3
81	82.5	96.1	101.6	8	96.1	2.7	74.4	24	4.5	48	93	65	28	42	24	18
101.2	105.4	120.1	127.3	9	120.1	3.2	90.5	28	4.5	54	110	80	30	50	28	22
130.4	132.3	141.4	154.4	10	147.4	3.5	110.7	30	5	62	130	95	35	58	34	24
155.3	157.3	174.2	181.8	10	174.2	3.7	125.8	32	5.5	70	150	110	40	68	40	28

3. 球墨铸铁件冒口

砂型铸造时，球墨铸铁缩孔体积较灰铸铁大 2 倍以上，为防止缩孔、缩松必设冒口。生产中多采用暗冒口，并且金属液经冒口注入型腔。

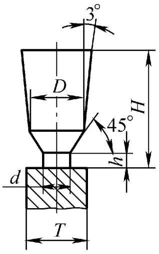
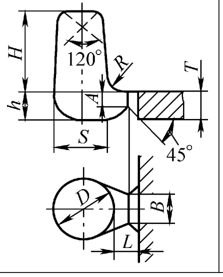
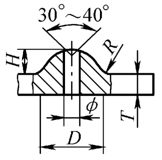
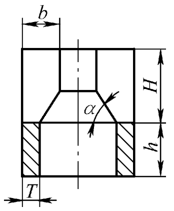
（1）球墨铸铁的冒口补缩距离　球墨铸铁具有糊状凝固特性，易产生分散性缩松，如果提高砂型刚度（干型、自硬砂型、水泥砂型），充分利用共晶膨胀压力以克服缩松，则可不考虑冒口补缩距离。如果是湿型铸造，则应考虑其补缩距离，见表 3-117。

表 3-117　球墨铸铁件的冒口补缩距离

简图			
补缩条件	冒口单向补缩	冒口双向补缩	
应用	1）适用于铸件壁厚为 10 ~ 50mm 2）当铸件壁厚大于 50mm 时，补缩距离可适当增加		

（2）球墨铸铁冒口尺寸　球墨铸铁件常用的明冒口、暗边冒口、半球状冒口、环形冒口尺寸，见表 3-118。

表 3-118　球墨铸铁件常用冒口尺寸

冒口形式	明顶冒口	暗边冒口	半球状冒口	环形冒口
简图				

（续）

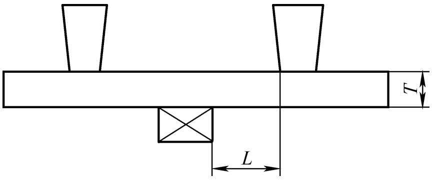
冒口形式	明顶冒口	暗边冒口	半球状冒口	环形冒口
冒口尺寸	$D=(1.2\sim3.5)T$ $H=(1.2\sim2.5)D$ $d=(0.4\sim0.7)D$ $h=(0.3\sim0.35)D$	$D=(1.2\sim3.5)T$ $H=(1.2\sim1.5)D$ $A=(0.8\sim0.9)T$ $B=(0.8\sim1.2)T$ $L=(0.3\sim0.35)D$ $h=(0.4\sim0.5)D$ $R=(0.5\sim0.7)D$ $S=0.75D$	$H=(1.5\sim4)T$ $D=2H$ $\phi=25\sim35\text{mm}$ $R=(0.25\sim0.4)H$	$H=(0.5\sim1)h$ $b=(1.5\sim2.5)T$ α 值： $H=0.5h$ 时，$\alpha=30°$ $H=0.8h$ 时，$\alpha=45°$ $H=h$ 时，$\alpha=60°$
说明	1）T 是铸件壁厚，或热节圆直径 2）$\frac{D}{T}$的值，随铸件补缩条件而变，条件好时取 1.2～1.5，较好时取 1.6～2.5，不好时取 2.6～3.5 3）一般壁厚铸件取 $D=T+50\text{mm}$。圆柱体、立方体等，取 $D=(1.2\sim1.5)T$			

3.5.5　非铁合金铸件冒口

1. 铝合金铸件冒口

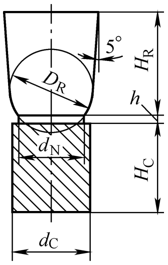
（1）铝合金铸件的冒口补缩距离（见表 3-119）

表 3-119　铝合金铸件的冒口补缩距离

简　　图		
铝合金类型	共晶型	非共晶型
冒口补缩距离	$L=4.5T$	$L=2T$

（2）铝合金铸件尺寸　铝合金铸件一般采用明顶冒口。圆柱形铸件的明顶冒口尺寸计算见表 3-120。

表 3-120　圆柱形铸件的明顶冒口尺寸计算

图　　示	冒口尺寸计算	式 中 说 明
	1）冒口根部直径 $D_R=1.2d_C$ 2）冒口高度 $H_R=1.2\sim1.5D_R$ 或 $H_R=1.4\sim1.8d_C$ 3）冒口根部切割余量 $h=5\sim8\text{mm}$ 4）冒口根部缩颈 $d_N=0.9d_C$	D_R—冒口根部直径 d_C—铸件热节圆直径 H_R—冒口高度，冒口向上有 5°倾斜，也可按 1∶10 斜度设计 h—冒口根部切割余量 d_N—冒口根部缩颈，以便于切割冒口

2. 铜合金铸件冒口

（1）冒口补缩距离　锡青铜、磷青铜、铅青铜和部分黄铜的结晶温度范围一般较宽，呈糊状凝固方式，易出现分散性缩松，冒口补缩距离小；无锡青铜和部分黄铜结晶温度范围一般较窄，近中间凝固方式，易形成集中缩孔，冒口补缩距离较大。铜合金铸件的冒口补缩距离见表 3-121。

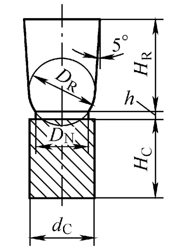
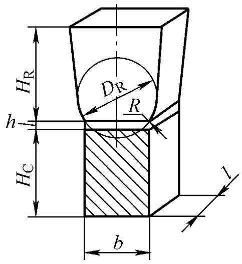
表 3-121　铜合金铸件的冒口补缩距离

序号	合金种类 （成分为质量分数,%）	铸件形状	末端区长	冒口区长	补缩距离
1	锡锌青铜(Sn8,Zn4)	板件 杆件	$4T$ $10\sqrt{T}$	0 0	$4T$ $10\sqrt{T}$
2	锰铁黄铜(Cu55,Mn3,Fe1)	板件	$5T$	$2.5T$	$7.5T$
3	铝铁青铜(Al9,Fe4)	板件	$5.5T$	$3T$	$8.5T$

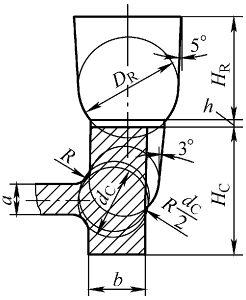
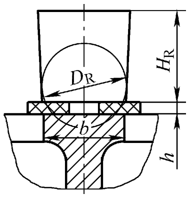
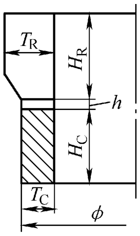
注：表中数据是在干型、水平浇注条件下测出的。T 为板厚或杆的边长。

（2）铜合金铸件冒口尺寸　锡青铜和磷青铜、铝青铜和黄铜件的冒口尺寸见表 3-122。

表 3-122　锡青铜和磷青铜、铝青铜和黄铜件的冒口尺寸（单位：mm）

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">铸件类别
（表图中:h 为切割冒口用的留量）</td><td colspan="3">冒 口 尺 寸</td></tr>
<tr><td>锡青铜和磷青铜</td><td colspan="2">铝青铜和黄铜</td></tr>
<tr><td rowspan="5">圆柱形铸件</td><td rowspan="5">
</td><td rowspan="5">$D_R=1.2d_C$
$H_R=(1.5\sim2.0)d_C$
$h=5\sim8$mm</td><td colspan="2">$D_R=(1.3\sim1.5)d_C$
$H_R\geqslant2d_C$
H_R 也可按 D_R 计算</td></tr>
<tr><td>D_R</td><td>H_R</td></tr>
<tr><td><100</td><td>$1.5D_R$</td></tr>
<tr><td>100 ~ 200</td><td>$1.3D_R$</td></tr>
<tr><td>>200</td><td>$1.0D_R$</td></tr>
<tr><td>矩形铸件</td><td>
</td><td>$D_R=1.2b$
$H_R=(1.5\sim2.0)b$
$h=5\sim8$mm
冒口长度取 l</td><td colspan="2">计算方法同上,以 b 取代 d_C 即可,冒口长度取 l</td></tr>
</table>

（续）

铸件类别 （表图中：h 为切割冒口用的留量）		冒口尺寸 锡青铜和磷青铜	铝青铜和黄铜
T形截面铸件		$D_R=1.2d_C$ $H_R=(1.5\sim2.0)d_C$ $h=5\sim8\text{mm}$ 补贴方法：将热节往上滚，引其切线。也可由热节圆的切点往上外斜3°，画直线至铸件顶部 计算冒口尺寸的 d_C，则取补贴后的热节内切圆直径	$D_R=(1.3\sim1.5)d_C$ $H_R=1.5D_R$（$D_R<100\text{mm}$ 时） $H_R=1.3D_R$（$D_R=100\sim200\text{mm}$ 时） $H_R=D_R$（$D_R>200\text{mm}$ 时）
易割冒口		$D_R=1.2b$ $H_R=(1.5\sim2.0)b$ $h=5\sim8\text{mm}$ 缩颈面积为冒口横断面积的40%左右，缩颈处做成斜度，按图示方向放置，h 为隔片厚度	$D_R=(1.3\sim1.5)b$ H_R 的计算方法同T形截面铸件
轮和套类		1. 轮类（$\phi>H_C$） 当 $\phi>500\text{mm}$，$H_C>150\text{mm}$ 时， $T_R=1.5T_C$ $H_R=(1.5\sim2.0)T_R$ H_R 最大不超过150mm $h=5\sim8\text{mm}$ 2. 套类（$H_C>\phi$） 当 $\phi>200\text{mm}$，$H_C>500\text{mm}$ 时， $T_R=1.5T_C$ $H_R=(1.5\sim2.0)T_R$ H_R 最小70mm，最大150mm $h=5\sim8\text{mm}$	

3.6 冷铁

3.6.1 冷铁的作用、类型及应用

1. 冷铁的作用

冷铁在铸件凝固过程中的激冷、控制凝固的作用如下：

1）与冒口配合使用，使铸件呈定向凝固，扩大冒口的有效补缩距离或范围，减

少冒口的数目和体积，提高金属液的利用率，防止铸件产生缩孔或缩松。

2）加快铸件局部的冷却速度，使铸件呈同时凝固，防止铸件产生变形和裂纹。

3）强化铸件某些特殊部位的冷却，改善铸件金相组织，提高表面硬度和耐磨性。

4）减轻或防止厚壁铸件产生偏析

2. 冷铁的种类

冷铁按在砂型中的位置不同，可分为外冷铁和内冷铁两种。

（1）外冷铁　在造型时，安放在模样的表面上，构成型腔的一部分，可加快与其接触的铸件壁的凝固和冷却速度。浇注后，外冷铁不与铸件熔接，清理后可回收重复使用。外冷铁的结构形状根据铸件被激冷部位的形状而定，常用的有圆角外冷铁和板形外冷铁两种。圆角外冷铁常用在铸件两壁相交的圆角部位。板形外冷铁常用在铸件凸台平面上。

（2）内冷铁　在合型时，安放在型腔内，浇注后与铸件熔合成一体，永存于铸件之中，故其材质应与铸件相同或相近。内冷铁主要有圆钢内冷铁、螺旋内冷铁和架状（即栅状）内冷铁三种。螺旋内冷铁因固定不方便，浇注时易冲离，故使用较少。

3. 冷铁的应用

（1）冷铁应用最多的是铸钢件　冷铁是控制铸钢件凝固的一种很好的工艺措施。相当多的铸钢件单靠冒口补缩是不够的，常在不易用冒口补缩的加工面、凸台等部位或热节部位设置冷铁，与冒口配合可防止产生缩孔、缩松和裂纹。薄壁小件多用外冷铁，大型件多用内冷铁。

（2）铸铁件没有铸钢件应用的多　在铸铁件中，球墨铸铁应用的相对稍多一些，主要是用于加快凝固速度，缩短凝固时间，以达提高石墨球化率。而灰铸铁、可锻铸铁应用的很少。尤其是灰铸铁由于缩孔、缩松倾向小，线收缩小，很少采用冷铁来控制凝固过程。

3.6.2　铸钢件的冷铁

1. 铸钢件的外冷铁

铸钢件外冷铁分为直接外冷铁和间接外冷铁，常用外冷铁建立具有激冷作用的人为末端区；或用于消除铸钢件的裂纹、缩孔和缩松。

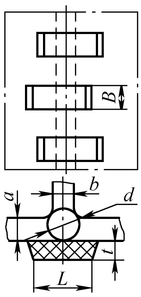
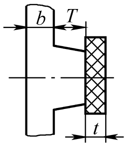
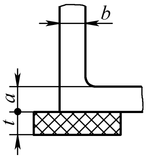
（1）铸钢件外冷铁尺寸

1）板形外冷铁尺寸。法兰和凸台常是热节较大的部位，往往又是重要工作面，通常都用板形外冷铁激冷。

板形外冷铁的厚度小于25mm时，用钢板切割制成；板形外冷铁的厚度大于25mm时，用铸钢浇注成型外冷铁。板形外冷铁的尺寸见表3-123。

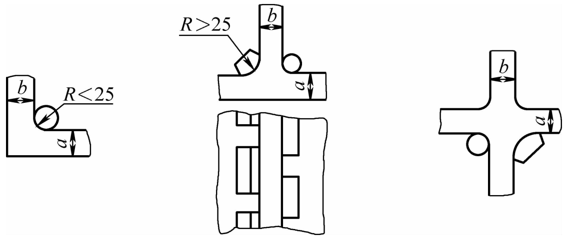
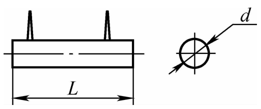
2）圆角外冷铁尺寸。铸件两壁交接处形成L形、T形、+形的热节点，此处易产生缩松和裂纹，常需安放圆角外冷铁。圆角外冷铁的圆角R与铸件的圆角应相同。一般$R=(a+b)/4$，a和b为组成圆角的两壁厚度。当$R\leqslant 25$mm时，用圆钢截成外冷铁；当$R>25$mm时，可用半圆形成形外冷铁。

表 3-123　板形外冷铁尺寸　　（单位：mm）

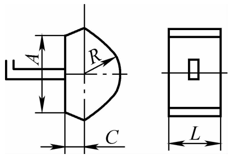
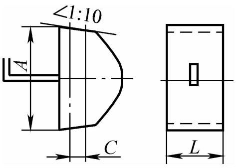
简图	外冷铁尺寸									
	热节圆直径 *d*		15	20	25	30	40	50	60	80	100
	外冷铁	厚度 *t*	10	12	15	20	25	30	40	50	60
		长度 *L*	3*d*				2.5*d*			2*d*	
		宽度 *B*	(1.5～2.0)*d*								
	说明		当 *d*>80 时,应尽量放置内冷铁								
	凸台高度 *T*		15	20	25	30	35	40	50	60	70
	$\frac{T}{b}\leqslant$		1.25				1.10			0.75	
	外冷铁	$\frac{t}{T}$	0.6～0.8				0.7～0.9			0.8～1.0	
		t	10	12	15	20	25	30	40	50	60
	铸件壁厚 *a*		15	20	25	30	35	40	50	60	70
	$\frac{a}{b}\leqslant$		2.3				2.0			1.7	
	外冷铁	$\frac{t}{a}$	0.4～0.6				0.5～0.7			0.6～0.8	
		t	8	10	12	15	20	25	30	40	50

①圆角外冷铁尺寸见表 3-124。

表 3-124　圆角外冷铁尺寸　　（单位：mm）

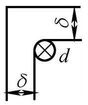
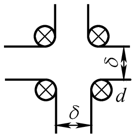
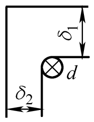
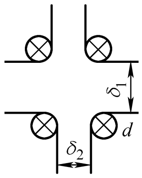
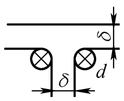
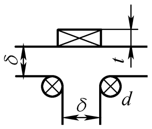
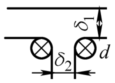
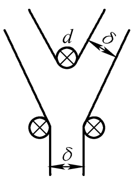
圆角外冷铁的应用					
形状	图示	规格			
		铸件圆角半径	冷铁尺寸		间距
			d	*L*	
圆柱形		10	20	80～100	50～70
		15	30	80～100	50～70
		20	40	100～120	60～80
		25	50	100～120	60～80

（续）

形状	图　示	规　格			
		铸件圆角半径	外冷铁尺寸		
			A	*C*	*L*
多半圆形		30	40	5	60 ~ 80
		40	60	10	60 ~ 80
		50	60	10	80 ~ 100
		60	80	15	80 ~ 100
		80	100	15	80 ~ 100
		铸件圆角半径	外冷铁尺寸		
			A	*C*	*L*
少半圆形		30	70	0	60 ~ 80
		40	90	5	60 ~ 80
		50	100	5	80 ~ 100
		60	130	10	80 ~ 100
		90	170	10	80 ~ 100

②铸钢件各种接头部位的圆柱形外冷铁尺寸见表 3-125。

表 3-125　铸钢件各种接头部位的圆柱形外冷铁尺寸

序号	接头形式	圆柱形外冷铁直径 *d*	序号	接头形式	圆柱形外冷铁直径 *d*
1		$d=\frac{2}{3}\delta$	5		$d=\frac{3}{4}\delta$
2		$\delta_1>1.8\delta_2$ $d=\delta_2$	6		$\delta_1>1.8\delta_2$ $d=\delta_2$
3		$d=0.5\delta$	7		$d=\frac{1}{3}\delta$ $t=\frac{1}{3}\delta$
4		$\delta_1>1.8\delta_2$ $d=\delta_2$	8		$d=\left(\frac{1}{2}\sim\frac{2}{3}\right)\delta$

（2）外冷铁的使用规程

1）冷铁工作表面应平整光滑，去除油污和锈蚀，涂刷涂料。

2）安放位置要得当，冷铁最好置于铸件底部或侧面，不能破坏铸件的凝固顺序，不应堵塞冒口补缩通道。

3）厚大板状外冷铁四周作成45°斜度，以使铸件激冷面至非激冷面有一个过渡区，避免温差过大，使铸件产生裂纹。

4）铸件内圆角 R 小于15mm 时，选用圆钢外冷铁；R 大于15mm 时，选用半圆成形外冷铁。铸件热节小于70mm 时，选用外冷铁；热节大于90mm 时，选用内外冷铁配合应用。铸件厚度大于150mm 时，尽量不用外冷铁，避免铸件与冷铁熔接。

5）冷铁直径小于50mm，厚度小于80mm，长度不宜太长。要便于固定，数块合并使用的冷铁，应交错排列，间距10～15mm，避免因膨胀变形挤坏砂型，或激冷作用过强造成铸件裂纹。

6）铸钢件外冷铁材质不用铸铁，而用普通碳素钢，以防与铸件熔接，使铸件渗碳产生裂纹。

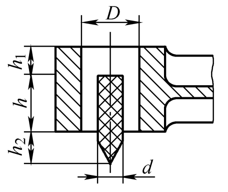
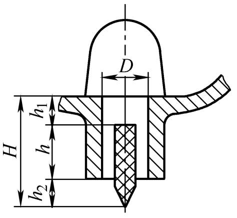
2. 铸钢件的内冷铁

铸钢件内冷铁分为熔合内冷铁（内冷铁和铸件本体熔合成一体）和不熔合内冷铁。常采用内冷铁，以缩小铸件或铸件局部热节处的模数、控制顺序凝固、减少冒口体积和消除缩孔、缩松。内冷铁的设计或选用，主要是确定内冷铁的重量和冷铁截面尺寸。

（1）内冷铁尺寸　铸钢件内冷铁是根据所需激冷部位的形状和大小而选用的。

1）铸件钻孔部位的内冷铁尺寸见表3-126。

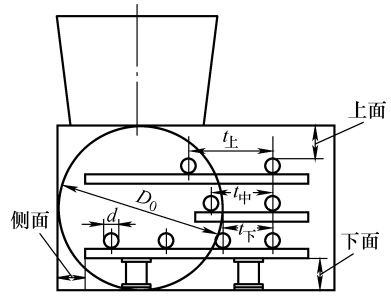
表3-126　铸件钻孔部位的内冷铁尺寸

<table>
<tr><td>简　图</td><td colspan="3">
$h_1=12\sim25$mm时，$h_2=0.5h$

$h_1=D$时，$h_2=0.5h$</td></tr>
<tr><td>加工孔直径 D/mm</td><td>内冷铁直径 d/mm</td><td>根数</td><td>说明</td></tr>
<tr><td>20</td><td>8～10</td><td>1</td><td rowspan="12">1）圆钢内冷铁放在直径小于80mm的加工孔部位和直径小于120mm的T、十字形截面的热节处
加工孔直径大于80mm时最好不放内冷铁，改为下芯铸出孔，或铸孔的加工孔上面放冒口
2）同一热节放多根内冷铁时，应事先点焊在一起
3）也可按下式确定内冷铁直径：
$d=(0.4\sim0.5)D$</td></tr>
<tr><td>30</td><td>12～15</td><td>1</td></tr>
<tr><td>40</td><td>16～20</td><td>1</td></tr>
<tr><td>50</td><td>21～25</td><td>1</td></tr>
<tr><td>60</td><td>26～30</td><td>1</td></tr>
<tr><td>70</td><td>31～35</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">80</td><td>35～40</td><td>1</td></tr>
<tr><td>12～14</td><td>3</td></tr>
<tr><td>90</td><td>14～16</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">100</td><td>16～18</td><td>3</td></tr>
<tr><td>40～50</td><td>1</td></tr>
</table>

2）厚实铸件的架状内冷铁尺寸见表 3-127。

表 3-127　厚实铸件的架状内冷铁尺寸　　（单位：mm）

简　图

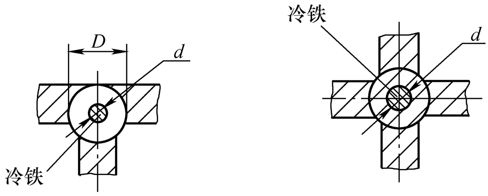


热节直径 D_0	圆钢直径 d	圆钢间距			冷铁与砂型的距离				内冷铁占热节的大致百分数(%)
		$t_下$	$t_中$	$t_上$	非加工面		加工面		
					下、侧面	上面	下、侧面	上面	
150	10 12	50	50	50	30 ~ 40 36 ~ 48	40	40 ~ 50 48 ~ 60	60	1 ~ 1. 4
200	12	60	70	80	36 ~ 48	50	48 ~ 60	60	1. 5 ~ 1. 8
300	16	70	80	90	48 ~ 64	75	64 ~ 80	80	2 ~ 2. 5
400	16	80	110	150	48 ~ 64	80	64 ~ 80	80	2. 8 ~ 3. 2
500	16 20	100	150	200	48 ~ 64 60 ~ 80	100	64 ~ 80 80 ~ 100	100	3. 3 ~ 3. 5
600	16 22	120	180	240	48 ~ 64 60 ~ 80	120	64 ~ 80 80 ~ 100	120	3. 6 ~ 5
800	16 25	120	190	270	48 ~ 64 60 ~ 80	160	64 ~ 80 80 ~ 100	160	4. 5 ~ 6
1000	20 28	130	200	300	60 ~ 80 75 ~ 100	200	80 ~ 100 100 ~ 125	200	5 ~ 6. 5
1000 ~ 2000	25 30	150	250	350	75 ~ 100	0. 15D_0	100 ~ 125	0. 15D_0	5. 5 ~ 7
应用	1）架状内冷铁广泛用于截面厚大的大型铸钢件（如机架及破碎机类铸件、砧座类铸件） 2）焊制时，圆钢排列密度应下密上疏，远离冒口处密，近冒口处疏，造成定向凝固的条件 3）由圆钢堆叠焊接而成								

3）铸件局部小热节处圆钢内冷铁尺寸见表 3-128。

表 3-128　铸钢件局部小热节圆钢内冷铁尺寸

图　示



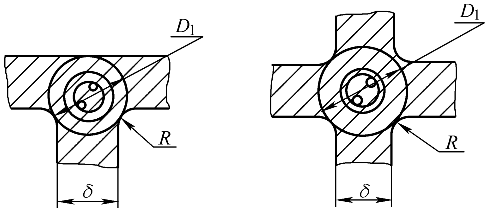
（续）

热节圆直径 D/mm	30	40	50	60	70		80	90	100
内冷铁直径 d/mm	6 ~ 10	10 ~ 12	12 ~ 16	16 ~ 20	18 ~ 22	12 ~ 15	16 ~ 18	10 ~ 18	12 ~ 20
内冷铁根数	1	1	1	1	1	2	2	3	3
说明	同一热节放 2 ~ 3 根冷铁时,应事先电焊在起一起								

4）螺旋形内冷铁的尺寸、螺旋内冷铁的标准规格和单位重量见表 3-129、表 3-130。

表 3-129　螺旋内冷铁的尺寸参数

图　示



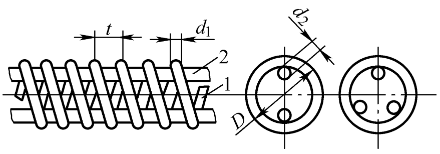
δ—铸件壁厚　R—铸造圆角

铸件热节圆		合适的螺旋内冷铁规格		
直径 D_1/mm	重量/kg	螺旋线直径 d_1/mm	芯杆直径 d_2/mm	芯杆数量/根
30	5. 5	1 ~ 1. 5	3 ~ 4	1
40	10. 0	2 ~ 2. 5	3 ~ 6	1
50	15. 5	3 ~ 4	4 ~ 6	1
60	22. 3	3 ~ 4	4 ~ 6	1
70	30. 3	3 ~ 4	5 ~ 8	1 ~ 2
80	41	5 ~ 6	6 ~ 8	2 ~ 3
90	50	5 ~ 6	6 ~ 8	2 ~ 3
100	62	5 ~ 6	8 ~ 10	2 ~ 3
110	75	5 ~ 6	10 ~ 12	2 ~ 3
120	89	5 ~ 6	10 ~ 12	2 ~ 3
130	104	5 ~ 6	10 ~ 12	2 ~ 3

注：螺旋内冷铁的重量按占铸件被激冷热节重量的 1. 5% ~4% 计算。d_1、d_2 见表 3-130 中的表图。

表 3-130　螺旋内冷铁的标准规格和单位重量

图　示



1—螺旋线（钢丝）　2—芯杆（低碳钢）

（续）

主要尺寸/mm				芯杆数量/根	线质量/(kg/m)	
螺　旋　线			芯　　杆		螺旋线	线-杆共重
d_1	D	t	d_2			
1～1.5	8	4～6	3	1	0.039	0.095
	12	4～6	4	1	0.0963	0.163
2～2.5	15	6～10	4	1	0.154	0.254
	25	6～10	4	1	0.275	0.378
	35	6～10	6	1	0.400	0.622
3～4	30	10～15	6	1	0.564	0.786
	45	10～15	6	2	0.842	1.286
	60	10～15	8	2	1.030	1.820
5～6	50	20～25	8	3	1.2320	2.415
	60	20～25	10	3	1.490	3.341
	60	20～25	10	3	1.750	3.80
	70	20～25	12	3	1.750	4.414

（2）铸钢件内冷铁的使用规程

1）铸钢件的内冷铁表面必须清洁，不得有油污、锈斑、水气和渣粒等。常用喷砂、滚筒清理或酸洗等方法，清除其表面附着物，然后，在内冷铁表面喷涂铝、镀锡、镀铜。

2）内冷铁应在组芯、合型时才装入铸型。采用湿型铸造工艺时，铸型在装入内冷铁后，应在 3～4h 内浇注，否则，有使铸件产生气孔的可能。

3）内冷铁的安置位置不能妨碍铸件凝固和收缩，并防止黏附在铸型，或暴露在加工表面上，应尽量置于中央。

4）耐压铸件不宜使用内冷铁。

3.6.3　铸铁件的冷铁

1. 铸铁件的外冷铁

（1）灰铸铁和可锻铸铁件的外冷铁

1）外冷铁材料。采用铸铁，或石墨、碳素砂等

2）外冷铁位置

①铸件相邻壁厚相差悬殊时，常在厚壁处或厚薄交界转角处放外冷铁，以控制均衡凝固。

②有硬度要求或致密度要求的铸件局部表面层放外冷铁，以提高表面层硬度，或提高铸件密度。

③当用直接外冷铁时易引起灰铸铁表层产生白口层或过冷石墨层，甚至产生裂

纹，此时可采用暗冷铁（即隔砂冷铁），如图 3-23 所示。

3）外冷铁尺寸

①用于一般壁面，外冷铁厚度为铸件壁厚的 0.5 ~0.7 倍。

②用于凸台处，外冷铁厚度应为凸台高出部分的 0.7 ~1.0 倍。

③铸铁件外冷铁（暗冷铁）的尺寸见表 3-131。

（2）球墨铸铁件的外冷铁　对厚大的球墨铸铁件，模数大，凝固慢，常降低石墨球化率，故需采用冷铁激冷，以缩短凝固时间，加快凝固速度，从而提高石墨球化率。

1）模数 < 9cm 的球墨铸铁铸件，采用铸铁外冷铁，使凝固时间控制在 50min 内，球化率达 > 80%。

2）模数 > 9cm 的球墨铸铁铸件，常用石墨电极冷铁（或开设有通风，或内腔通水的铸铁冷铁），以提高激冷效果，缩短铸件凝固时间，提高铸件的石墨球化率。

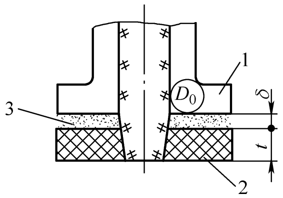


图 3-23　暗冷铁

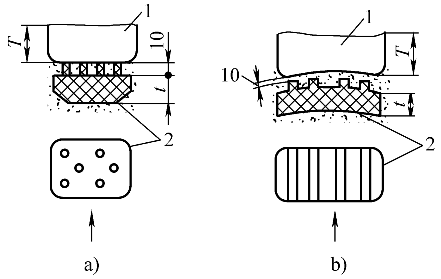
1—铸铁件　2—外冷铁

3—敷砂层

$t=(1.0\sim1.4)D_0$，$\delta=20\sim30$mm

表 3-131　铸铁件外冷铁（暗冷铁）的尺寸

简　图



a）点接触式冷铁　b）间接外冷铁

1—铸件　2—外冷铁

铁设置部位	冷铁厚度 t	说　明
机床道轨面上	$t=(0.25\sim0.4)T$	1）图中 T 表示被激冷部位的铸件壁厚或热节圆直径 2）铸件转角处的圆角半径 $R<30$mm 时，可采用圆钢截成的冷铁 3）冷铁的长度、宽度尺寸，参考铸钢件的冷铁，冷铁的间距为 10 ~30mm 4）机床导轨面采用石墨冷铁时，$t=(0.3\sim0.5)T$ 5）冷铁材质：一般采用铸铁，也可采用比硅砂蓄热系数大的非金属材料，如石墨、碳素砂等
一般灰铸铁件上	$t=(0.3\sim0.35)T$	
质量要求较高的灰铸铁上	$t=(0.5\sim0.6)T$	
铸件质量要求较高的点接触式冷铁（图 a）	$t=(0.5\sim0.6)T$	
铸件质量要求较高的间接外冷铁（图 b）	$t=(0.8\sim1.2)T$	
可锻铸铁件	$t=1.0T$	

3）球墨铸铁件采用外冷铁控制凝固时间小于 50min 为最好，大于 60min 会有石墨漂浮的可能。对质量要求不严的铸件，凝固时间可长一些。

（3）铸铁件外冷铁的表面涂料（见表3-132）

表3-132　铸铁件外冷铁的表面用涂料

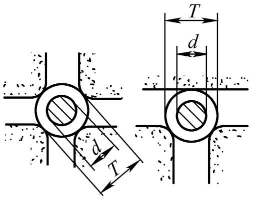
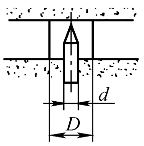
砂型种类	涂料种类及配方（质量分数）	说　明
湿型	煤油、亚麻油、机油	在冷铁上涂薄薄一层
	石蜡	冷铁烘热后，用石蜡块擦上很薄一层，即可使用或存放
干型	石墨涂料	用于一般铸铁件
	酒精+松香（<5%）	冷铁表面涂刷后造型，修型后与砂型同刷一层石墨水基涂料
	硅石粉82%+膨润土6%+糖浆5%+松柏油4%+粘土3%	用于重要表面和铸件。涂料层厚度1~2mm，放入砂型后，表面再刷一层石墨水基涂料

2. 铸铁件的内冷铁

铸铁件很少采用内冷铁。仅对一些不很重要的厚实铸铁件（如砧座、机架、垫铁、平衡飞轮等），或薄壁有独立热节的中小铸铁件，可适当使用内冷铁，以提高实收率。

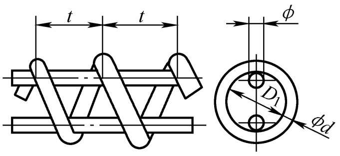
（1）内冷铁尺寸（见表3-133、表3-134）

表3-133　"T形、十字形"铸铁件内冷铁的尺寸　　（单位：mm）

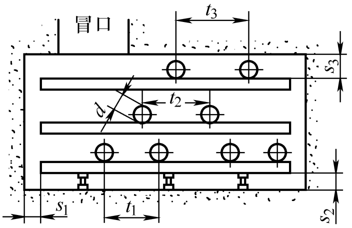
<table>
<tr><th>序号</th><th>分类</th><th>图　示</th><th colspan="2">T</th><th colspan="2">d</th><th colspan="2">冷铁比（%）</th></tr>
<tr><td>1</td><td>T形</td><td rowspan="2"></td><td colspan="2" rowspan="2">30
40
50
60
70
80
90
100</td><td colspan="2" rowspan="2">4~7
5~10
6~12
7~15
9~17
10~20
12~232
13~25</td><td colspan="2" rowspan="2">1~3
1~3
1~3
1~3
1~3
1~3
3~5
3~5</td></tr>
<tr><td>2</td><td>十字形</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">待加工孔</td><td rowspan="2"></td><td>D</td><td>10</td><td>30</td><td>40</td><td>50</td><td>60</td><td>80</td></tr>
<tr><td>d</td><td>6~10</td><td>12~15</td><td>16~20</td><td>21~25</td><td>26~30</td><td>35~40</td></tr>
</table>

注：冷铁比是指冷铁重量占铸件重量的比率。

表3-134　"螺旋和格子内冷铁"的尺寸与数量　　（单位：mm）

螺旋内冷铁图示	 n——直径为ϕ的支杆系数

（续）

铸件热节或壁厚 T	D_1	d	l	ϕ	n/个
20 30 40 50	10 10 20 25	1～1.5 2～2.5 2～2.5 3～4	6～9 6～15 6～15 15～22	3 4 4 6	1
60 70 80～90 100 110 120～130	25 40 40 50 50 60	3～4 3～4 5～6 5～6 5～6 5～6	15～22 15～22 30～38 30～38 30～38	5 6 8 10 12 12	2
140～150	60	5～6	30～38	12	3
格子内冷铁图示					

T	d	t_1	t_2	t_3	铸件要求不高		铸件要求高	
					s_1～s_2	s_3	s_1～s_2	s_3
150	10 12	50	50	50	30～40 36～48	40	40～50 48～60	60
200	12	60	70	80	36～48	50	48～60	60
300	16	70	80	90	48～64	75	64～80	80
400	16	80	110	150	48～64	80	64～80	80
500	16 20	100	150	200	48～64 60～80	100	64～80 80～100	120
600	16 20	120	180	240	48～64 60～80	120	64～80 80～100	120
800	16 20	120	190	270	48～64 60～80	160	64～80 80～100	160
1000	20 25	130	200	300	60～80 75～100	200	80～100 100～125	200
1001～2000	25	150	250	350	75～100	0.15T	100～125	0.15T

（2）内冷铁的应用（见表 3-135）

表 3-135 铸铁件内冷铁的应用

<table>
<tr><td>内冷铁材质</td><td>与被激冷铸件材质相同或相近
木工铁钉
低碳钢圆钢[成分(质量分数,%):C 0.11 ~0.17,Si 0.1 ~0.3,Mn 0.3 ~0.6]</td></tr>
<tr><td>表面要求</td><td>1）内冷铁表面清洁、无锈、无油污,必要时喷砂处理
2）低碳钢内冷铁可放在盐酸(HCl)中除锈,清水冲洗后镀锡(镀锌容易受热挥发产生火焰),或镀铝、镀镍,个别情况下可用铜制内冷铁</td></tr>
<tr><td>冷铁比
(%)</td><td><table>
<tr><td>铸件名称</td><td>冷铁比(%)</td></tr>
<tr><td>铁砧座铸件</td><td>5 ~7</td></tr>
<tr><td>机架类铸件</td><td>4 ~5</td></tr>
<tr><td>要求不高的垫铁、平衡飞轮铸铁件</td><td>视浇注温度高低不同,取 8 ~10</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>应用案例</td><td>已知:2t 汽锤砧座,材质为灰铸铁,重量 $G=30t$,外形尺寸 2200mm×1800mm×1680mm
选择内冷铁:取冷铁比 4%,即用 1.2t 内冷铁,利用铸钢浇口棒焊成交错的棋盘格子形,$d=45\sim50$mm,内冷铁离铸型距离为 100 ~150mm
效果:浇注效果良好</td></tr>
</table>

3.6.4 非铁合金铸件的内冷铁

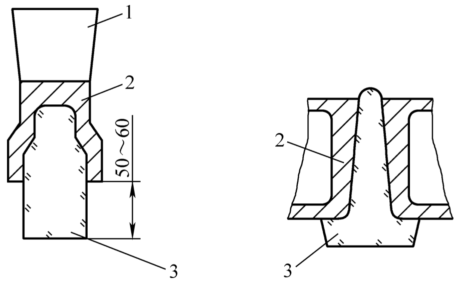
1. 加工孔的内冷铁

对非铁合金铸件的加工孔，必要时，可设置的内冷铁，在随后的机械加工中又将它去除。内冷铁材质与铸件一致。内冷铁尺寸参考铸钢件内冷铁。内冷铁表面质量要求光洁、无油污和锈斑。

2. 铁芯内冷铁

对内腔质量要求高而热裂倾向不大的铸件，可采用铁芯，见表 3-136。

表 3-136 非铁合金铸件用铁芯内冷铁

<table>
<tr><td>简　图</td><td colspan="4">

1—冒口 2—铸件 3—铁芯</td></tr>
<tr><td>铁芯材质</td><td>芯头长度</td><td>起模斜度</td><td>表面处理</td><td>适 用 范 围</td></tr>
<tr><td>钢、铁</td><td>适当</td><td>5°</td><td>与外冷铁相同</td><td>适用于形状简单,出芯方便,内腔质量要求高的铸件。但热裂倾向大的合金铸件不能用</td></tr>
</table>

3.7　出气孔

型腔的出气冒口、砂型和砂芯排气通道，统称出气孔。出气孔有明出气孔和暗出气孔；直接出气孔和引出式出气孔；圆形出气孔、扁形出气孔、出气针和出气片之分，分别用于不同生产场合。如图 3-24 所示。

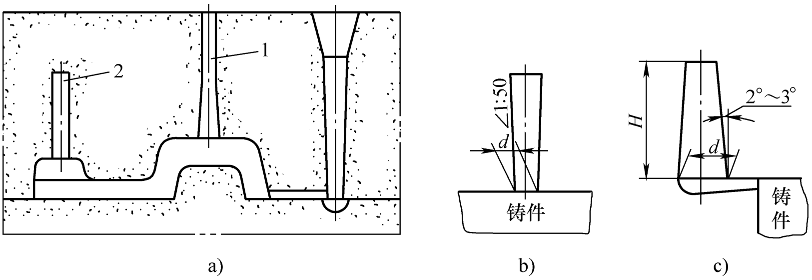


图 3-24　出气孔示意图

a）明出气孔（序号 1）和暗出气孔（序号 2）　b）直接出气孔　c）引出式出气孔

3.7.1　出气孔的作用、设置原则

（1）出气孔的作用

1）主要是排气。排出型腔、砂芯以及金属液析出的气体。

2）减压。减小浇注时型腔内受热而剧增的气体压力，防止抬型或金属液喷溅伤人。

3）减阻。降低充型时的空气阻力，改善金属液的充型能力，以减少铸件的局部浇不足或冷隔。

4）排渣和金属冷液。排除先行注入型腔内的低温金属液和浮渣。

5）观察和判断。便于观察和判断金属液充满型腔的程度。

（2）出气孔的设置原则

1）设置在铸件浇注位置的最高点。

2）设置在金属液最后流到的部位。

3）设置在型、芯发气和储气较多的部位。

4）设置在型腔内气体难以排出的“死角”处。

5）出气孔根部不能有圆角以方便清除。根部厚度或直径应小于该处的铸件壁厚，一般取所在处铸件厚度的 0.4～0.7 倍。厚壁处优先采用引出式出气孔。

6）必须能使型腔与大气相通。对于只有暗冒口的铸件，出气孔根部总截面积应等于或大于内浇道总截面积，切实保证型腔中的气体能顺畅地排出。

7）出气孔不宜设在铸件的热节和厚壁处，避免因出气孔冷却快而导致铸件在该处产生收缩缺陷。如确实需要，可采用引出式出气孔。

8）直接出气孔不宜过小，必要时可在出气孔上部设置溢流杯，既可排出脏的金

属液，又可防止在出气孔根部产生气孔。

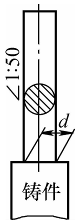
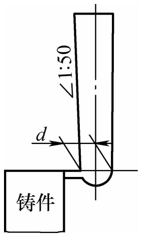
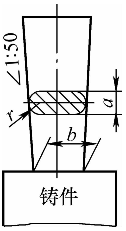
9）出气孔尽量不与型腔直通，可采用引出过道与型腔连通，以避免散砂和脏物落入型腔。

10）为防止金属液钻入堵死砂芯出气孔，应采用石棉绳等密封条填塞芯头间隙。

3.7.2　出气孔的形状和尺寸

1. 圆形和扁形出气孔（见表3-137）

表3-137　出气孔形状和尺寸　（单位：mm）

形　式	圆　形	引出气孔	扁　形
简图			

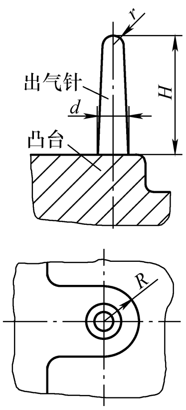
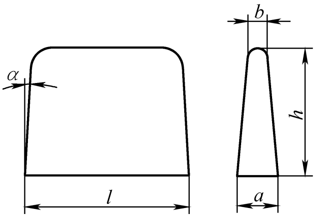
出气孔尺寸/mm

圆形	d	$\phi8 \sim \phi12$	用于中、小铸件		直接出气孔底部截面尺寸等于该处壁厚的1/2～3/4，引出气孔尺寸可大些		
		$\phi14 \sim \phi20$	用于重、大型铸件				
扁形	a	15	20	25	30	40	50
	b	45	50	75	80	80	90
	r	7.5	10	12.5	15	20	25

2. 机器造型用出气针和出气片

机器造型薄壁复杂铸件（如气缸体、气缸盖等），常采用出气针或出气片排除铸件易产生气孔缺陷部位的气体。出气针一般设在铸件凸台、螺栓凸台等处；出气片一般设置在铸件法兰处。其尺寸见表3-138。

表3-138　出气针和出气片的尺寸　（单位：mm）

出　气　针	出　气　片
	

（续）

R	*d*	*H*	*r*	厚　度		*a*	*b*	*h*	α/(°)	*l*
5	6	30 ~ 60	2	铸件肋条	8	5	3	50	5	30 ~ 60
6 ~ 10	8 ~ 14	40 ~ 80	3 ~ 5		10	6	4	60	5	40 ~ 80
					15	8	5	70	7	50 ~ 90
11 ~ 20	10 ~ 20	50 ~ 90	3.5 ~ 7	铸件壁厚	5 ~ 6	4 ~ 5	2 ~ 3	50	5	30 ~ 60
					7 ~ 10	5 ~ 8	3 ~ 5	60	5	40 ~ 80
21 ~ 30	12 ~ 35	70 ~ 100	4 ~ 14		11 ~ 15	6 ~ 10	4 ~ 6	70	7	50 ~ 90

3.8　工艺肋

工艺肋（又称铸肋）是为满足铸造工艺要求，铸造时给铸件增设的肋条。这是保证铸件质量的一项有效工艺措施，根据其作用不同分为两种：防裂肋和防变形肋。

3.8.1　防裂肋

1. 防裂肋的应用

防裂肋（又称收缩肋、割肋）是为防止铸件热裂而在铸件上作出的肋条。当使用退让性较好的型砂（如石灰石砂、树脂砂）时，一般也可不设置防裂肋。防裂肋主要用于铸钢件，在铸件清理时除去。防裂肋的应用如图 3-25 所示。

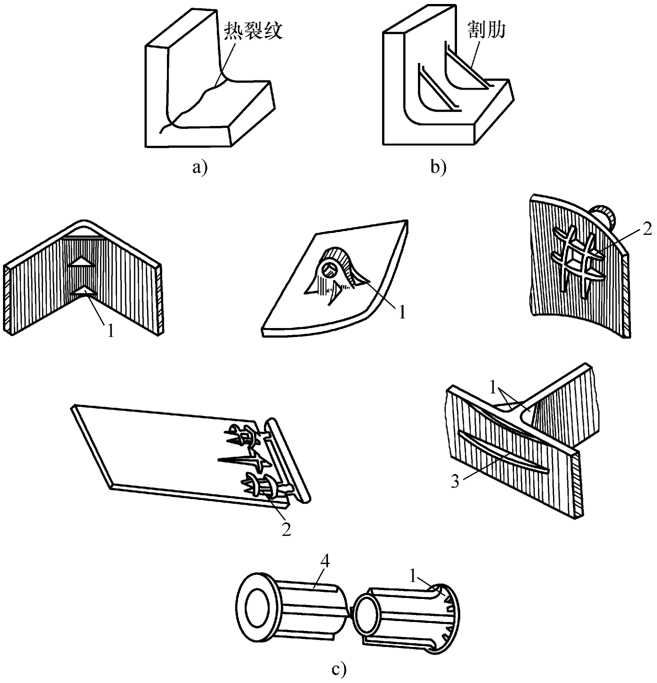


图 3-25　防裂肋的应用

a）转角处热裂纹　b）设置防裂肋　c）防裂肋形状

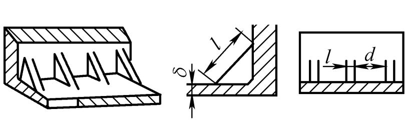
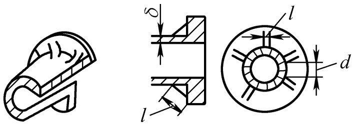
1—三角形　2—井字形　3—弧形　4—长条形

2. 防裂肋的开设位置及尺寸

防裂肋的位置开设在铸件易裂的凹角处，方向和热裂纹方向垂直。

防裂肋的尺寸主要是厚度，它随铸件厚度而定。通常肋条厚度小于铸件厚度，浇注后快速凝固，具有较高的强度，以承受铸件收缩而产生的拉应力，以防止开裂。防裂肋的形式和尺寸见表 3-139。

表 3-139　防裂肋的形式和尺寸

简图	 a)	 b)		
尺寸	交接壁中的最小壁厚 δ/mm	收缩肋的厚度 t	两肋间的距离 d	肋的斜边长度 l
	20 ~ 300	(0.25 ~ 0.35)δ	(15 ~ 20)t	(8 ~ 12)t

注：收缩肋厚度 t 以最厚为 15mm，最小为 4mm 为原则。

3.8.2　防变形肋

1. 防变形肋的设置位置

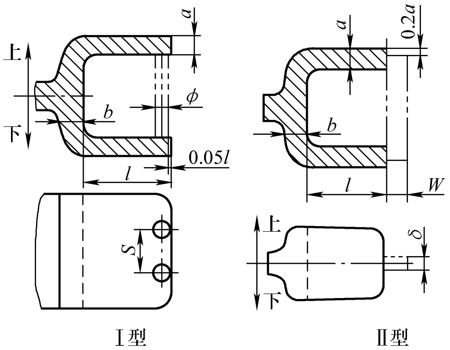
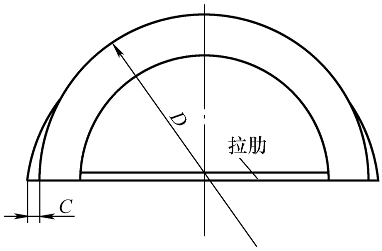
防变形肋（又称拉肋、加强肋）是为防止截面呈半环形或 U 形的铸件，浇注后冷却时各部收缩不均而产生变形，在开口处设置的附加肋条。防变形肋在铸件热处理后去除。

2. 防变形肋的形状和尺寸

（1）形状　肋的截面形状有圆形、长方形，也有用浇注系统代替。

（2）尺寸　肋的厚度一般为铸件壁厚的 40% ~60%，使其快速凝固，承受应力，防止铸件变形。对于大、中型铸件，除设拉肋外，在加工余量之外，需另加防变形的工艺补正量。铸钢件防变形肋的形式及尺寸见表 3-140。

表 3-140　铸钢件防变形肋的形式和尺寸　（单位：mm）

小型铸钢件  Ⅰ型　Ⅱ型	中大型铸钢件 

（续）

铸件壁厚 a	Ⅰ型		Ⅱ型		拉肋	厚度	为设拉肋处铸件厚度的 40%～60%
	ϕ	S	δ	W		宽度	为肋厚度的 1.5～2 倍
10～15	5～7	20～30	4～6	(3～4)δ	半环形外径 D		补正量 C
>15～20	>7～10	>30～40	4～6	(3～4)δ	<2000		10～15
>20～25	>10～13	>40～50	6～8	(3～4)δ	2000～3200		15～18
>25～30	>13～15	>50～60	6～8	(3～4)δ	>3200		18～22

3.9　芯头尺寸与间隙

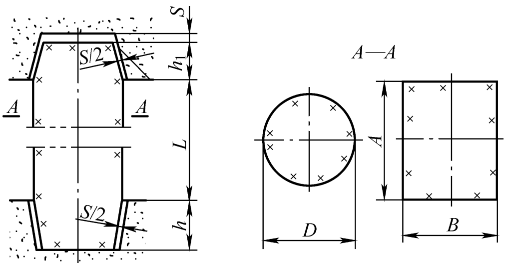
芯头的作用是在铸型中支撑和定位型芯、排除浇注时产生的气体。

为了使砂芯能安放稳固、下芯操作和合型方便，芯头必须具有合适的高度（或长度）、一定的斜度，芯头与芯座之间留有一定的间隙。芯头和芯座之间的间隙，通常采用芯盒的芯头按名义尺寸制造，将模样上芯座尺寸加大制作，这样来形成间隙的。芯头的尺寸（高度或长度）、斜度、间隙，可用查表法并结合生产实际经验来确定。

3.9.1　垂直芯头的高度、斜度和间隙

1. 垂直芯头的高度 h 和 h_1（见表 3-141）

表 3-141　垂直芯头的高度 h 和 h_1（JB/T 5106—1991）（单位：mm）

图　示										
L	当 D 或 $(A+B)/2$ 为下列数值时的高度 h									
	≤30	31～60	61～100	101～150	151～300	301～500	501～700	701～1000	1001～2000	>2000
≤30	15	15～20	—	—	—	—	—	—	—	—
31～50	20～25	20～25	20～25	—	—	—	—	—	—	—
51～100	25～30	25～30	25～30	20～25	20～25	30～40	40～60	—	—	—
101～150	30～35	30～35	30～35	25～30	25～30	40～60	40～60	50～70	50～70	—
151～300	35～45	35～45	35～45	30～40	30～40	40～60	50～70	50～70	60～80	60～80
301～500	—	40～60	40～60	35～55	35～55	40～60	50～70	50～70	80～100	80～100
501～700	—	60～80	60～80	45～65	45～65	50～70	60～80	60～80	80～100	80～100

（续）

L	当 D 或 $(A+B)/2$ 为下列数值时的高度 h									
	≤30	31～60	61～100	101～150	151～300	301～500	501～700	701～1000	1001～2000	>2000
701～1000	—	—	—	70～90	70～90	60～80	60～80	80～100	80～100	100～150
1001～2000	—	—	—	—	100～120	100～120	80～100	80～100	80～120	100～150
>2000	—	—	—	—	—	—	—	80～120	80～120	100～150

由 h 查 h_1

上芯头高度 h	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100	120	150
下芯头高度 h_1	15	15	15	20	20	25	25	30	30	35	35	40	45	50	55	65	80

注：1. 一般的砂芯上、下芯头采用相同的高度，尤其是成批大量生产时。

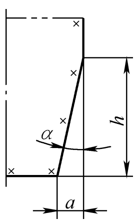
2. 如有必要采取不同高度的上、下芯头，可先查出 h 值，然后根据 h 值查出 h_1 值。

3. 对于大而矮的直立砂芯，常不用上芯头，此时下芯头可适当加长。

4. 当砂芯长度 L 与直径 D 之比 $L/D>2.5$ 时，为提高砂芯的稳定性，可以采用加大芯头的形式。

2. 垂直芯头的斜度 α（见表 3-142）

表 3-142　垂直芯头的斜度 α（JB/T 5106—1991）　（单位：mm）

	芯头高 h	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	120	150	a/h	α
	上芯头	2	3	4	5	6	7	9	11	12	14	16	19	22	28	1/5	10°
	下芯头	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10	13	1/10	5°

3. 垂直芯头与芯座之间的间隙 S（见表 3-143）

表 3-143　垂直芯头与芯座之间的间隙 S（JB/T 5106—1991）

（单位：mm）

铸型种类	D 或 $(A+B)/2$（D、A、B 见表 3-141 表图）											
	≤50	51～100	101～150	151～200	201～300	301～400	401～500	501～700	701～1000	1001～1500	1501～2000	>2000
湿型	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0
干型	0.5	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0

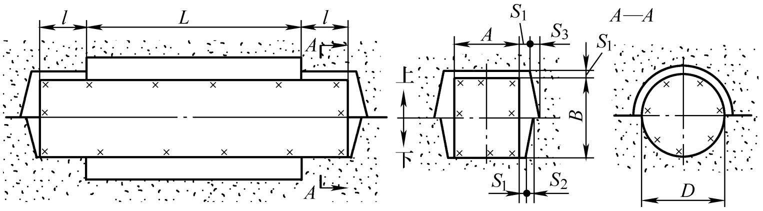
注：机器造型、湿型、大量生产时，常用间隙 0.5～1.0mm；干型、大件，间隙常为 2～4mm。树脂砂型的间隙可比干型小 50%。

3.9.2　水平芯头的长度、斜度和间隙

1. 水平芯头的长度 l（见表 3-144）

表 3-144　水平芯头的长度 l（JB/T 5106—1991）　　（单位：mm）

图示



L	D 或(A+B)/2												
	≤25	26～50	51～100	101～150	151～200	201～300	301～400	401～500	501～700	701～1000	1001～1500	1501～2000	>2000
≤100	20	25～35	30～40	35～45	40～50	50～70	60～80	—	—	—	—	—	—
101～200	25～35	30～40	35～45	45～55	50～70	60～80	70～90	80～100	—	—	—	—	—
201～400	—	35～45	40～60	50～70	60～80	70～90	80～100	90～100	—	—	—	—	—
401～600	—	40～60	50～70	60～80	70～90	80～100	90～110	100～120	120～140	130～150	—	—	—
601～800	—	—	60～80	70～90	80～100	90～110	100～120	110～130	130～150	140～160	150～170	—	—
801～1000	—	—	—	80～100	90～110	100～120	110～130	120～140	130～150	150～170	160～180	180～200	—
1001～1500	—	—	—	90～110	100～120	110～130	120～140	130～150	140～160	160～180	180～200	200～220	220～260
1501～2000	—	—	—	—	110～130	120～140	140～160	150～170	160～180	180～200	200～220	220～240	260～300
2001～2500	—	—	—	—	130～150	150～170	160～180	180～200	200～220	220～240	240～260	260～300	300～360
>2500	—	—	—	—	—	180～200	200～220	220～240	240～260	260～280	280～320	320～360	360～420

注：1. 直径 $D>600$mm 的环状砂芯在制造时，若沿圆周方向分片制造，每片砂芯的 L 应以外圆弧长为基准，即 L 等于弧长。

2. 具有浇注系统的芯头长度可适当加大。

2. 水平芯头的斜度和间隙（见表 3-145）

表 3-145　水平芯头的斜度和间隙（JB/T 5106—1991）　（单位：mm）

D 或(A+B)/2		≤50	51～100	101～150	151～200	201～300	301～400	401～500	501～700	701～1000	1001～1500	1501～2000	>2000
湿型	S_1	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5
	S_2	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	S_3	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0

（续）

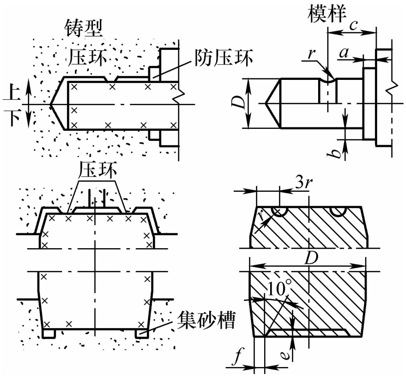
D 或 $(A+B)/2$		≤50	51 ~ 100	101 ~ 150	151 ~ 200	201 ~ 300	301 ~ 400	401 ~ 500	501 ~ 700	701 ~ 1000	1001 ~ 1500	1501 ~ 2000	>2000
干型	S_1	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	4.0	5.0
	S_2	1.5	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	8.0	10.0
	S_3	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	6.0	6.0	8.0	8.0	9.0	10.0	12.0

注：表中代号见表 3-144 表图。

3.9.3　压环、防压环和集砂槽的尺寸

粘土砂湿型、大量生产时，常在芯头处设置压环、防压环和集砂槽。其尺寸见表 3-146。

表 3-146　压环、防压环和集砂槽的尺寸　　（单位：mm）

芯头直径 D	水平芯头				垂直芯头			图　示
	a	b	c	r	e	f	r_1	
30 ~ 50	5	0.5	15	1.5	1.5	3	1.5	
51 ~ 100	5	1.0	15	2	2	3	2	
101 ~ 200	8	1.5	20	3	3	4	3	
201 ~ 400	10	1.5	25	5	4	5	5	
>400	12	2	40	5	5	6	6	

3.9.4　芯头尺寸的验算

中、小砂芯，作用在芯头上的重力和浮力不大，不必验算芯头尺寸。对于大型砂芯，或金属液的浮力较大而芯头尺寸显得太小的砂芯，在按经验数据初步确定芯头尺寸之后，为保证质量安全，应验算芯头的承压面积。

1. 垂直芯头尺寸的验算

以图 3-26 为例，验算垂直芯头的尺寸。计算程序如下：

（1）计算砂芯所受的最大浮力　砂芯所受的浮力与砂芯的形状、尺寸、在型内的位置以及浇注系统类型等有关。图 3-26 中，当金属液上升到 a-a 位置时，砂芯受到的浮力最大，浮力的大小为

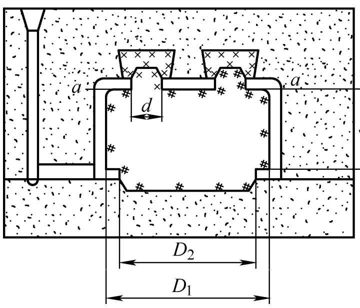


图 3-26　砂芯所受浮力的计算

$$F_{浮}=\frac{\pi}{4}(D_1^2-D_2^2)h\rho_L g \tag{3-16}$$

式中　$F_{浮}$——砂芯所受浮力（N）；

D_1——砂芯直径（m）；

D_2——下芯头直径（m）；

h——砂芯受浮力作用部分的高度（m）；

g——重力加速度（m/s^2）；

ρ_L——金属液的密度（kg/m^3）。

（2）计算上芯座所受的压力 $F_{芯}$　图 3-26 中的下芯头较大，无需验算。因没有水平芯头，上芯头所受的压力等于砂芯所受浮力减去砂芯重量。设两个上芯头位置对称，其所受到的压力相同，则每个芯头的压力 $F_{芯}$ 为

$$F_{芯}=(F_{浮}-G_{芯})/2 \tag{3-17}$$

式中　$F_{芯}$——作用于芯头上的压力（N）；

$F_{浮}$——砂芯所受的浮力（N）；

$G_{芯}$——砂芯的重力（N）。

（3）验算芯头承压面积 $A_{上}$　图 3-26 中每个上芯头所需的承压面积为

$$A_{上}\geqslant\frac{KF_{芯}}{[\sigma_{压}]} \tag{3-18}$$

式中　$A_{上}$——上芯头的横截面积（mm^2）；

K——安全因数，一般 $K=1.3\sim1.5$；

$F_{芯}$——作用于上芯座的压力（N）；

$[\sigma_{压}]$——芯座的许用抗压强度（MPa）。$[\sigma_{压}]$ 值根据砂型状况决定：一般铸铁件，湿型 $[\sigma_{压}]$ 取 0.13～0.15MPa；活化膨润土砂型 $[\sigma_{压}]$ 取 0.6～0.8MPa；干型 $[\sigma_{压}]$ 取 2～3MPa。

经过验算，若初定芯头尺寸的承压面积小于计算面积，应加大芯头尺寸或提高芯头芯座的抗压强度，例如在芯座上垫耐火砖或铁片，或增加芯撑，增加工艺孔等。

工艺设计时，如果用“自来砂芯”（砂胎）代替砂芯（图 3-27），则砂胎高度 h 与直径之比不能太大。手工造型时，上箱 $h_1\leqslant0.15D$，下箱 $h_2\leqslant0.5D$；机器造型时，上箱 $h_1\leqslant0.3D$，下箱 $h_2\leqslant D$。

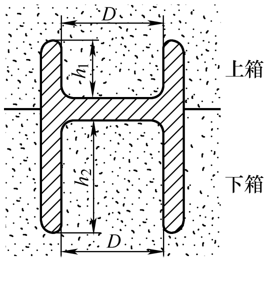


图 3-27　“自来砂芯”

h_1—上箱“自来砂芯”的高度　h_2—下箱“自来砂芯”的高度　D—“自来砂芯”的直径或最小尺寸

2. 水平芯头的承压面积计算

对于水平芯头，在求出所需的承压面积之后，再根据芯头的宽度（或直径）计算出所需的芯头长度。芯头的实际承压面积必须大于计算值。否则，就要采取提高承压能力的措施。例如，提高芯座强度（在芯座上垫铁片或耐火砖

等）、安放芯撑、增加水平芯头长度、增加工艺孔以增加芯头等，以免芯头压坏芯座，导致偏芯，使铸件报废。

3. 芯头承压面积验算案例

图3-28所示为某铸件的铸型图。铸件毛重500kg，浇冒口重量250kg，湿型铸造，金属液密度$\rho=7\text{g/cm}^3$，砂芯重力$G_{芯}=1000\text{N}$，$K=1.3$，$[\sigma_{压}]=6\text{N/cm}^2$。试计算砂芯在浇注时所受最大浮力，验算上芯座承压强度。

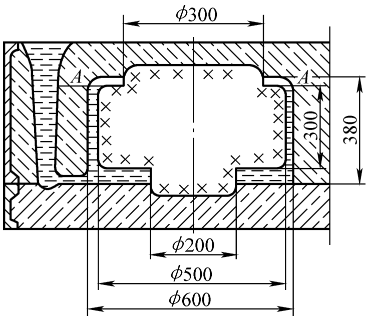


图3-28　铸件铸型图

解：

（1）砂芯所受浮力计算　根据题意已知$D_1=0.5\text{m}$，$D_2=0.2\text{m}$，$h=0.3\text{m}$，则有

$$F_{浮}=\frac{\pi}{4}(D_1^2-D_2^2)h\rho_L g=\frac{\pi}{4}(0.5^2-0.2^2)\times0.3\times7000\times9.8\text{N}=3394\text{N}$$

（2）上芯座所受压力

$$F_{芯}=F_{浮}-G_{芯}=3394\text{N}-1000\text{N}=2394\text{N}$$

（3）上芯座实际承压面积$A_{实}$

$$A_{实}=\frac{\pi}{4}\times30^2\text{cm}^2=707\text{cm}^2$$

（4）上芯座允许的最小承压面积$A_{\min}$

$$A_{\min}=\frac{KF_{芯}}{[\sigma_{压}]}=\frac{1.3\times2394}{6}\text{cm}^2=518.7\text{cm}^2$$

因$A_{\min}<A_{实}$，故上芯座承压面积足够。

3.10　铸造工艺文件

铸造工艺文件是用图样、文字、表格记载和说明零件的铸造生产工艺过程和指导生产作业的技术资料。工艺文件的格式和内容，因铸件结构、技术要求、生产条件的不同而繁简不一，但其主要内容基本相同。铸造工艺文件编制的好坏，对铸件质量、生产率、铸件成本起着决定性的作用。

铸造工艺文件可分以下两类：

一类是通用性工艺文件。即对铸造过程中的各个主要环节，例如型（芯）砂的配制、制造砂型（芯）、砂型（芯）的烘干、合型浇注、合金熔炼、落砂清理等，可制定通用性的（对每一个铸件都适用的）工艺规程。

另一类是针对每一个铸件，根据各自的特点和要求设计出的工艺文件，生产中常用的工艺文件有：铸造工艺图、铸件图、模样和模板图、芯盒图、砂箱图、铸型装配图、铸造工艺卡等。

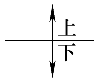
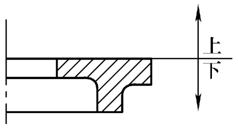
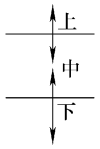
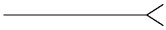
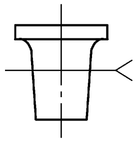
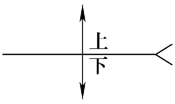
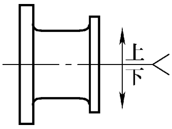
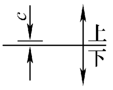
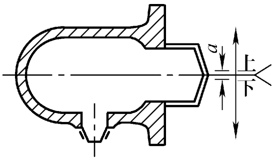
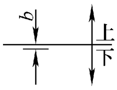
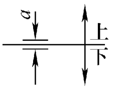
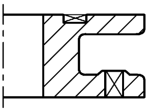
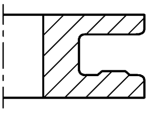
3.10.1　铸造工艺符号

铸造工艺符号是表达设计人员设计意图与要求的专用符号。它所代表的意义贯穿

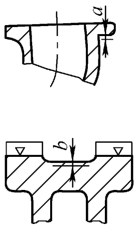
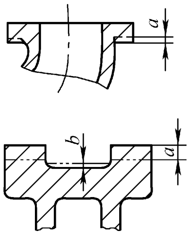
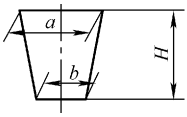
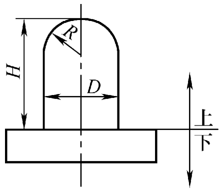
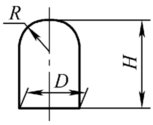
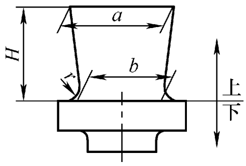
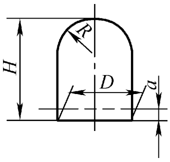
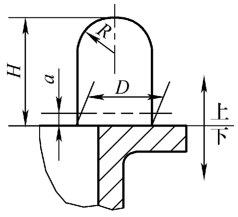
整个铸造生产过程。铸造现场生产人员应对铸造工艺符号有清楚的认识和理解，并按工艺符号所代表的意义进行生产操作。

铸造工艺符号可采用甲、乙两类形式表示。甲类形式是在零件图样上，用红蓝两色线条绘制的工艺图；乙类形式是用墨线绘制的工艺图。这两种形式均适用于砂型铸造铸钢件、铸铁件和铸造非铁合金铸件。铸造工艺符号及表示方法见表 3-147。

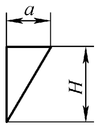
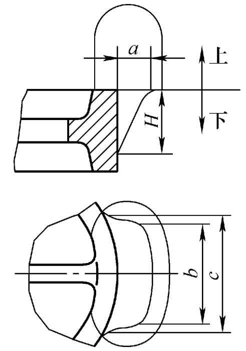
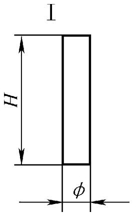
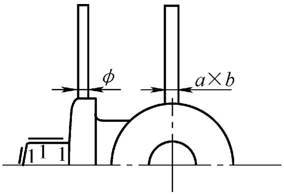
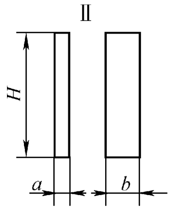
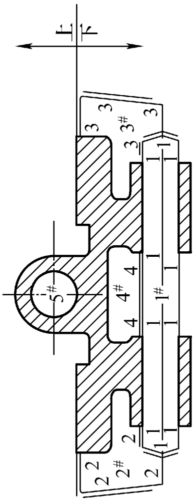
表 3-147　铸造工艺符号及表示方法（JB/T 2435—1978）

序号	工艺符号名称及表示方法			示　例	铸造工艺图（甲类）	铸造工艺图（乙类）
1	分型线	两开箱			用红色线表示，并用红色写出“上、中、下”字样	用细实线表示，并写出“上、中、下”字样
		三开箱				
2	分模线				用红色线表示，在任一端划“<”号	用细实线表示，在任一端划“<”号
3	分型分模线				用红色线表示	用细实线表示
4	分型负数	上减量			用红色线表示，并注明减量数值	用细实线表示，并注明减量数值
		下减量				
		上下减量				
5	不铸出的孔和槽				不铸出的孔或槽在图上用红线打叉	
						不铸出的孔或槽在铸件图上不画出

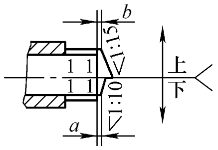
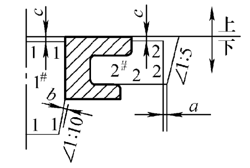
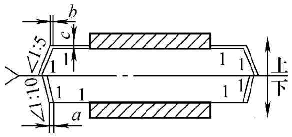
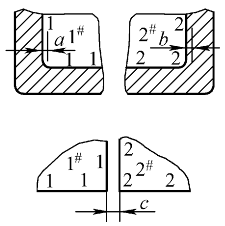
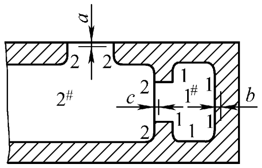
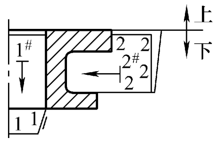
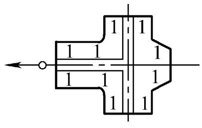
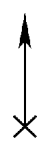
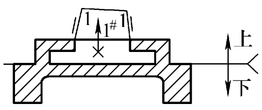
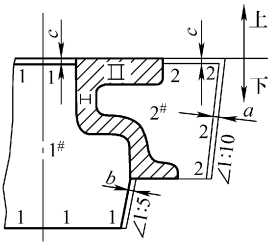
（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="3">工艺符号名称及表示方法</th><th>示　　例</th><th>铸造工艺图（甲类）</th><th>铸造工艺图（乙类）</th></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td colspan="3" rowspan="2">工艺补正量</td><td></td><td>用红色线表示，注明正、负工艺补正量的数值</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>粗实线表示毛坯轮廓，双点画线表示零件形状，注明正、负工艺补正量的数值</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">冒口</td><td>明冒口</td><td></td><td></td><td rowspan="2">各种冒口均用红色线表示，注明斜度和各部尺寸，并用序号 1#、2#区分</td><td rowspan="2">各种冒口均用细实线表示，注明斜度和各部尺寸，并用序号 1#、2#区分</td></tr>
<tr><td>暗冒口</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td colspan="2">冒口切割余量</td><td></td><td></td><td>用红虚线表示，注明切割余量数值</td><td>用虚线表示，注明切割余量数值</td></tr>
</table>

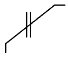
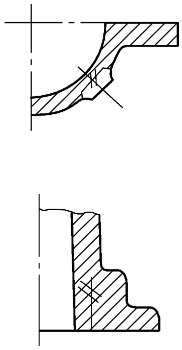
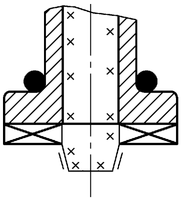
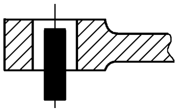
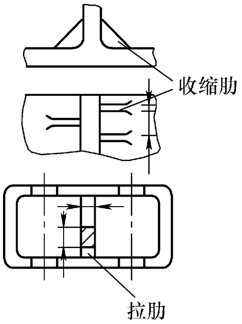
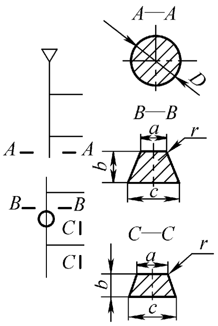
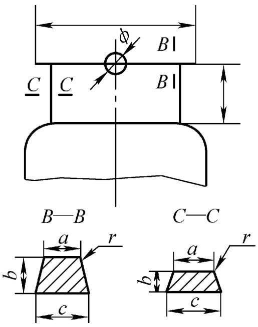
（续）

序号	工艺符号名称及表示方法		示　　例	铸造工艺图（甲类）	铸造工艺图（乙类）
9	补贴			用红色线表示，并注明各部尺寸	用细实线表示，并注明各部尺寸
10	出气孔 圆出气孔			用红色线表示，并注明各部尺寸	用细实线表示，并注明各部尺寸
	出气孔 扁出气孔				
11	砂芯编号、边界符号及芯头边界	1 1 1 1# 1 1 1　　2 2 2 2# 2 2 2　　3 3 3 3# 3 3 3		芯头边界用蓝色线表示，砂芯编号用阿拉伯数字1#、2#等标注。边界符号一般只在芯头及砂芯交界处用于砂芯编号相同的小号数字表示，铁芯须写出“铁芯”字样	芯头边界用细实线表示，砂芯编号用阿拉伯数字1#、2#等标注。边界符号一般只在芯头及砂芯交界处用于砂芯编号相同的小号数字表示，铁芯须写出“铁芯”字

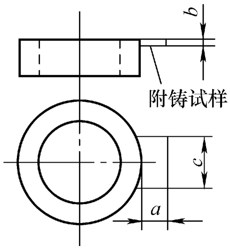
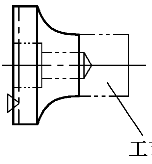
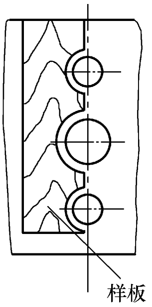
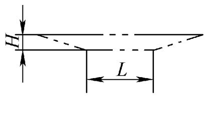
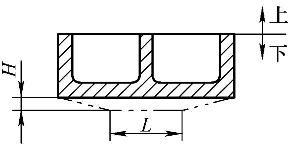
（续）

序号	工艺符号名称及表示方法		示　　例	铸造工艺图（甲类）	铸造工艺图（乙类）
12	芯头斜度及芯头间隙		 	用兰色线表示，并注明斜度和间隙数值	用细实线表示，并注明斜度和间隙数值
13	砂芯增减量与砂芯间的间隙	减量　　增量 		用兰色线表示，注明增减量与间隙数值，或在工艺图中说明	用细实线表示，注明增减量与间隙数值，或在工艺图中说明
14	捣砂方向			用兰色线表示，箭头表示方向，箭尾画出不同符号	用细实线表示，箭头表示方向，箭尾画出不同符号
	出气方向				
	紧固方向				
15	芯撑			芯撑用红色线表示，特殊结构的芯撑写出“芯撑”字样	芯撑用粗实线表示，特殊结构的芯撑写出“芯撑”字样

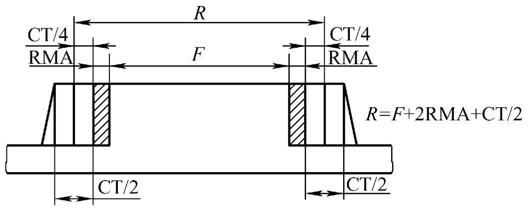
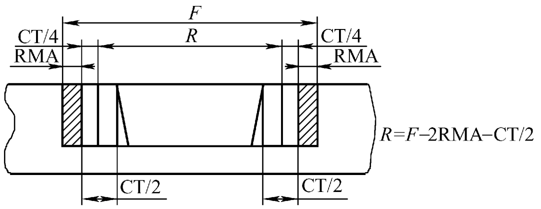
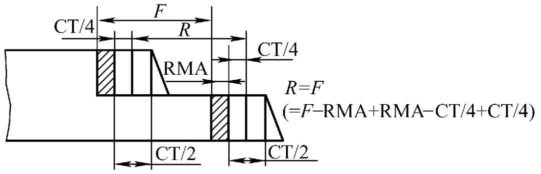
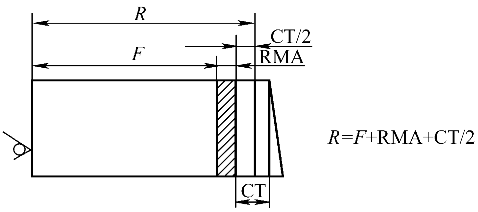
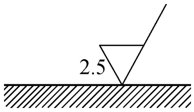
（续）

序号	工艺符号名称及表示方法		示　例	铸造工艺图（甲类）	铸造工艺图（乙类）
16	模样活块			用红线表示，并在此线上画两条平行短线	用细实线表示，并在此线上画两条平行短线
17	冷铁：圆钢冷铁；成形冷铁			用兰色线表示，圆钢冷铁涂淡蓝色，成形冷铁打叉	用细实线表示，圆钢冷铁涂淡黑色，成形冷铁打叉
18	收缩肋、拉肋			用红色线表示，注明各部尺寸，并写出“拉肋”或“收缩肋”字样	用红色线表示，注明各部尺寸，并写出“拉肋”或“收缩肋”字样
19	浇注系统			用红色线或红色双线表示，并注明各部尺寸	用细实线或细实双线表示，并注明各部尺寸

（续）

序号	工艺符号名称及表示方法		示　　例	铸造工艺图（甲类）	铸造工艺图（乙类）
20	附铸试块			用红色线表示，注明各部尺寸，并写出“附铸试样字样	用细实线表示，注明各部尺寸，并写出“附铸试样”字样
21	工艺夹头			用红色线画出工艺夹头的轮廓，并写出“工艺夹头”字样	用双点画线画出工艺夹头的轮廓，并写出“工艺夹头”字样
22	样板			用兰色线划出样板轮廓及木材剖面纹理，并写出“样板”字样，专门绘制样板图时，应在检验位置注明样板标记	用细实线划出样板轮廓及木材剖面纹理，并写出“样板”字样，专门绘制样板图时，应在检验位置注明样板标记
23	反变形			用红色双点画线表示，注明反变形量的数值	用双点画细线表示，注明反变形量的数值

（续）

序号	工艺符号名称及表示方法		示　例	铸造工艺图（甲类）	铸造工艺图（乙类）
24		机械加工余量	 a)  b)  c)  d) a）凸台外面作机械加工　b）内腔作机械加工　c）台阶尺寸作机械加工　d）在铸件某一部分一侧作机械加工 *R*—铸件毛坯的基本尺寸　*F*—最终加工后的尺寸 RMA—要求的机械加工余量　CT—铸件公差	在图a、b、c、d中：*R*—铸件毛坯的基本尺寸；*F*—最终加工后的尺寸；RMA—要求的机械加工余量；CT—铸件公差 要求的机械加工余量应按下列方式标注在铸件图或工艺文件中 1）用公差和要求的机械加工余量代号统一标注。例如：铸件最大轮廓尺寸为400～630mm，要求的机械加工余量等级为H，要求的机械加工余量为6mm（同时铸件的一般公差为GB/T 6414—CT12）。标注为：GB/T 6414—CT12—RMA6（H） 2）采用非标准加工余量时，应在铸件图上所需部位直接标出。如下图所示  3）检验和评定时，当铸件实际测定尺寸位于铸件基本尺寸公差带内时，应认为铸件的加工余量合格	

3.10.2　工艺文件的类型

铸造工艺文件常用的有：铸造工艺图、铸件图、模样及模板图、芯盒图、砂箱图、铸型装配图、铸造工艺卡等，见表3-148。

表3-148　铸造工艺文件的类型

工艺文件	设计内容	作用	设计程序
铸造工艺图	在零件图上用规定的各种红蓝工艺符号表示：分型（模）面、浇注位置、加工余量、收缩率、起模斜度、浇冒口系统、内外冷铁、砂芯形式和数量、芯头大小和配合间隙、铸肋、反变形量、分型负数、工艺补正量等；并用文字说明其他工艺要求，如砂箱尺寸、型芯砂和涂料的种类、保温打箱时间、浇注要求等	是制造模样、芯盒等工装、进行生产准备和铸件验收的依据，此图在铸件生产过程中必备	1）产品零件图样的铸造工艺性分析 2）选择铸造方法 3）确定浇注位置和分型（模）面 4）选择工艺参数 5）设计浇冒口系统、冷铁、铸肋和附铸试块 6）砂芯设计
铸件图	主要反映铸件的实际形状、尺寸和技术要求。其内容有：切削余量、工艺余量、铸件尺寸公差、加工基准、热处理规范和验收技术条件等	是铸造生产用图，也是铸件验收的基准图和铸件验收及设计机加工工艺的依据 适用于成批、大量生产或重要零件	以铸造工艺图为依据，画出铸件图
模样及模板图	模样及模板的结构、尺寸、形状和材料等。模样和浇冒口系统在模板上的安装位置、方法及定位结构等。重要铸件还应设计下芯夹具和各种卡板	模样、模板制造和装配的依据	根据铸造工艺图设计模样图、模板图
芯盒图	芯盒的结构、尺寸、形状、材料以及紧固和定位方式等	制造芯盒的依据	设计芯盒图
砂箱图	砂箱的结构、尺寸、材料、紧固和定位方式等	制造砂箱的依据	根据铸造工艺图所确定的相关参数及要求设计砂箱图
铸型装配图（合型图）	表示铸件的浇注位置、砂芯数量、下芯顺序和固定方式、浇冒口和冷铁的布置、砂箱结构和大小、排气通道和排气方向等	作为生产准备、合型、检验和工艺调整的依据 用于成批大量生产、重要或重型铸件	根据铸造工艺图的相关内容画出合箱图
铸造工艺卡	说明造型、制芯、浇注、开箱、清理等工艺操作过程中的具体要求和注意事项等	为生产和管理的重要依据。根据批量大小填写必要的内容	概括整个工艺设计的主要内容

3. 10. 3　铸造工艺图

铸造工艺图是在零件图上，直接用文字记载、用各种规定的工艺符号直接绘制而成的表示铸型分型面、铸件浇注位置、浇冒口系统、型芯结构尺寸、控制凝固措施（如补贴、冷铁、保温衬板）及各种铸造工艺参数和技术要求的图样。

铸造工艺图是生产准备、模具制造、铸件清理和验收的依据。

1. 甲类形式的铸造工艺图

单件小批生产时，常用甲类形式的铸造工艺图，是利用红蓝铅笔将各种简明的工艺符号标注在产品零件图上。如图 3-29 所示为某铸铁件的铸造工艺图。

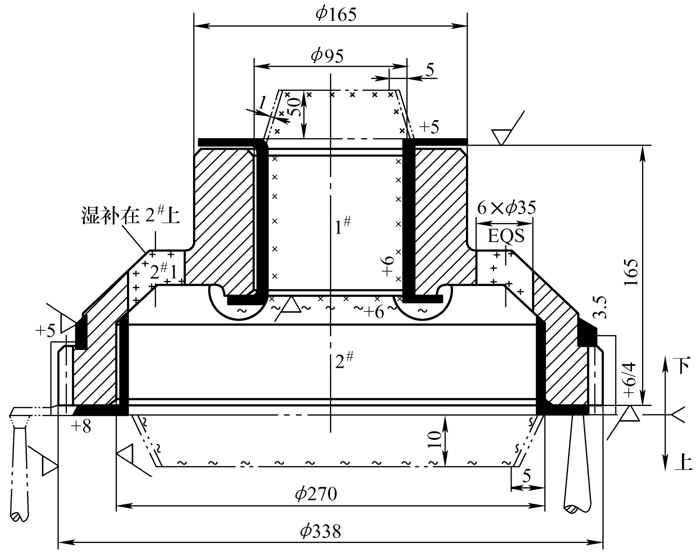


图 3-29　某铸铁件铸造工艺图

2. 乙类形式的铸造工艺图

成批、大批大量生产时，常用乙类形式的铸造工艺图，是用墨线绘制的工艺图。如图 3-30 所示为某铸钢件铸造工艺图。

3. 10. 4　铸造工艺卡

铸造工艺卡是用表格形式，集中体现铸造工艺设计和操作要点的主要内容。和铸造工艺图一样，也是铸造生产中最基本、最重要的技术资料和工艺文件，也是编制生产计划、调整劳动组织、安排物资供应、进行质量检验和经济核算的主要依据。铸造工艺卡的具体内容和格式，各厂因条件不同而繁简不同，应因地制宜。

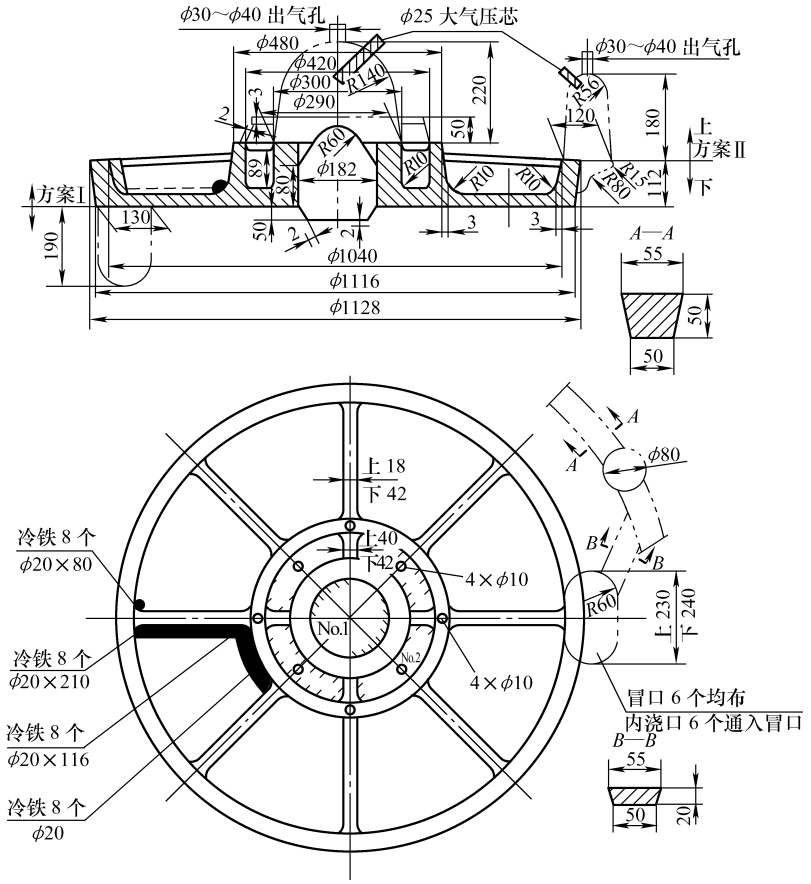


图 3-30　制动鼓铸钢件铸造工艺图

注：1. 缩尺：2.3%，砂箱：1650mm × 1650mm × 350/250mm

2. 模具：金属型 1 个、芯盒 2 个、铝质冒口 6 个、浇注系统 1 套、型板 1750mm × 1750mm

3. 砂型：水玻璃砂型，涂料：镁砂粉涂料

4. 毛重：420kg，钢液重：760kg，工艺出品率：55.3%

1）手工造型、单件小批生产的铸造工艺卡的内容和格式见表 3-149。

表 3-149　铸造综合性工艺卡片格式（手工造型）

	单位		铸造工艺卡片		卡片编号		工艺简图
	产品代号		零件代号		合金牌号		
	产品名称		零件名称		铸件重量/kg		
			每台件数		浇注重量/kg		
	砂箱内框尺寸/mm	砂箱重量/kg	造型		模样		
	长 / 宽 / 高		型砂类别		模样类别		
			砂型类别		活块数		
			涂料类别		托板数		
			烘干规范		轮廓尺寸/mm		
	制芯						
	芯盒数量		芯盒材料		芯骨数量		
	砂芯编号		芯砂类别		芯骨材料		
	芯板数量		涂料类别		冷铁数量		
	样板数量		烘干规范		冷铁材料		
	合型与浇注						技术条件
	样板数量		出炉温度/°C		浇注时间/s		
	紧箱方法		浇注温度/°C		冷却时间/h		
	浇冒口系统尺寸/mm						操作注意事项
编号	浇口杯	直浇道	横浇道	内浇道	冒口		
数量							
批准		审核		编制		日期	

2）机器造型、成批生产的铸造工艺卡的内容和格式见表 3-150。

表 3-150　铸造综合性工艺卡片格式（机器造型）

共　　页、第　　页

单位		砂型铸造工艺卡	产品型号		零件代号	
			产品名称		零件名称	

牌号		毛重/kg		浇冒口重/kg		工艺出品率(%)		每箱重/kg		每台件数	

模样		砂箱			型板		砂型名称	面砂编号	填充砂编号	涂料编号	芯撑	规格		砂型类别		
材料		名称	编号	规格	名称	编号						数量		砂箱卡编号或压铁重量		
每箱型数		上箱			型板						冷铁	编号			造型方法	
芯盒总数		中箱			型板							材料			造型设备	
砂芯数量		下箱										数量				

制芯					检查样板		
砂芯编号					编号	用途	数量
制芯方法							
涂料编号							
涂料次数	烘干前						
	烘干后						

特殊操作说明：	浇口杯	内浇道		横浇道		直浇道		冒口		浇注温度/°C		
	编号	数量	规格	数量	规格	数量	规格	数量	规格	浇注时间/s		
										冷却时间/h		

					编制	校对	审核	会签	批准
标记	处数	更改文件号	签字	日期					

3.10.5　铸造工艺 CAD 的基本概念

1. CAD 的概念

铸造工艺 CAD（计算机辅助设计）一般是指计算模拟、几何模拟和数据库的有机结合，是指铸造工艺设计和施工人员利用计算机进行工艺分析、试浇注和质量预

测，从而优选铸造方案、估算铸造成本，并利用计算机绘制、编制铸造工艺图、工装图、工艺卡等技术资料。因此，CAD 是人机结合、各尽所长的新型设计方法，大大提高了铸造工艺设计的效率和质量。

2. 铸造工艺 CAD 系统原理框图（见图 3-31）

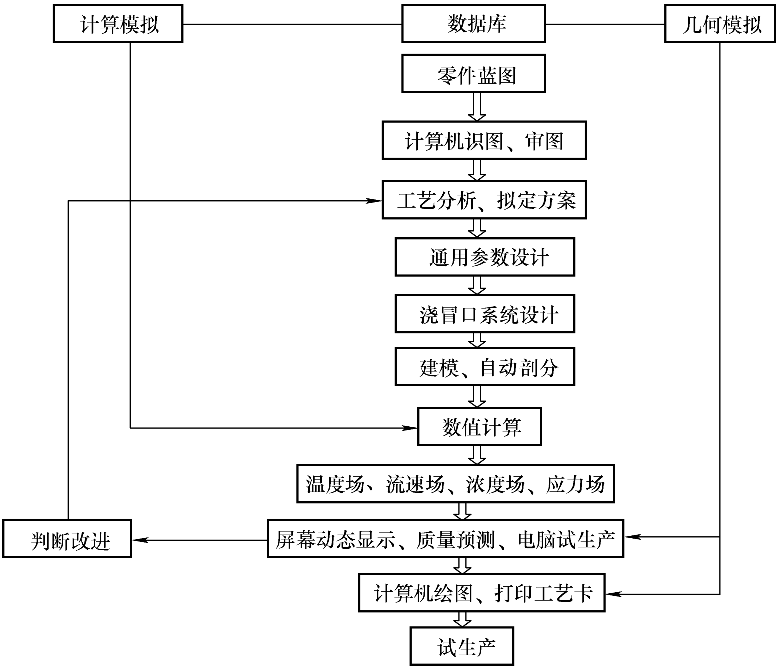


图 3-31　铸造工艺 CAD 系统原理框图

3. 铸造工艺 CAD 的发展现状

目前，铸造工艺 CAD 技术仍在不断发展和完善，随着计算机辅助制造技术 CAM 的发展和普及，将进一步促进铸造工艺 CAD 技术向实际铸造生产过程的 CAD/CAM 发展。

3.11　铸造工艺技术解决方案案例

3.11.1　耐磨高锰钢铸件铸造工艺方案

1. 颚式破碎机小齿板铸造工艺

耐磨件名称：颚式破碎机小齿板（见图 3-32）。

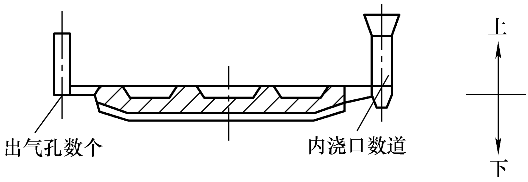


图 3-32　颚式破碎机小齿板铸造工艺

浇注位置：齿部向下铸造。

加工余量：不加工。

缩尺：2.7%。

浇口特点：开设一定数量的内浇口，沿齿向分散引入。

冒口特点：在内浇道的对面及两侧开设一定数量的出气孔。壁厚小于 35mm，质量小于 150kg 的，均不设冒口。

冷铁：不设置外冷铁。

2. 鄂式破碎机大齿板铸造工艺

耐磨件名称：鄂式破碎机大齿板（见图 3-33）。

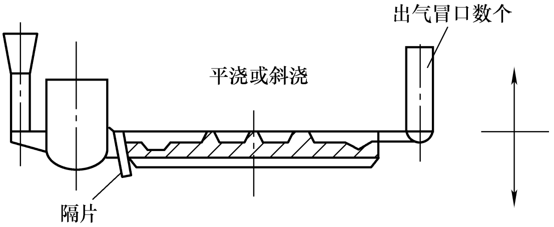


图 3-33　鄂式破碎机大齿板铸造工艺

浇注位置：齿部向下铸造。如长度大于 1500mm，可采用倾斜浇注。

加工余量：不加工。

缩尺：2.7%。

浇口特点：内浇口切向进入冒口。

冒口特点：设置隔片冒口。

冷铁：齿面较厚大时，可用隔砂外冷铁配合冒口使用。

3. 球磨机小型衬板铸造工艺

耐磨件名称：球磨机小型衬板（见图 3-34）。

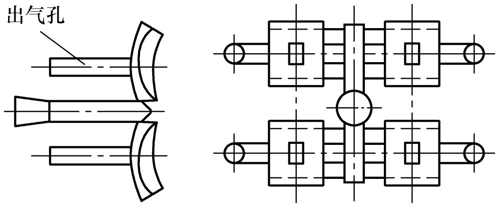


图 3-34　球磨机小型衬板铸造工艺

浇注位置：等壁厚截面筒身小衬板使用面朝下。

加工余量：不加工。

缩尺：2.7%。

浇口特点：开设扁薄的内浇口，分散引入浇注。

冒口特点：不设冒口，开设出气孔。

冷铁：壁厚 <35mm 时，不摆放外冷铁。

4. 球磨机大型衬板铸造工艺

耐磨件名称：球磨机大型衬板（见图 3-35）。

浇注位置：将使用面朝下。铸件长度大于 1500mm 时，可将冒口端垫高浇注。

加工余量：不加工。

缩尺：2.7%。

浇口特点：内浇口开向冒口。

冒口特点：可用隔片冒口补缩。

冷铁：用成形外冷铁，配合冒口使用。

5. 球磨机筛板铸造工艺

耐磨件名称：球磨机筛板（见图 3-36）。

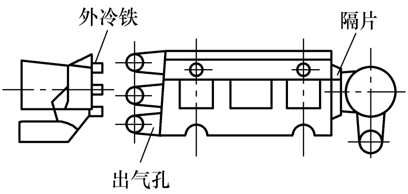


图 3-35　球磨机大型衬板铸造工艺

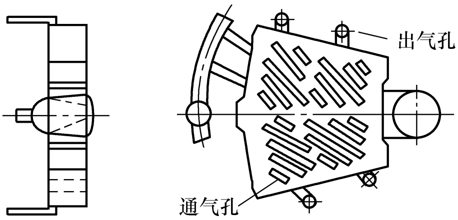


图 3-36　球磨机筛板铸造工艺

浇注位置：使用面（筛孔小头）向下，用石墨沥青芯砂。

加工余量：全部不加工。

缩尺：2.7%。

浇口特点：采用多道内浇口、分散、沿孔眼方向引入。

冒口特点：在浇注系统的对面设置冒口，两侧相应开设一定数量的出气孔。

冷铁：如有局部增厚时，可配合使用外冷铁激冷。

6. 挖掘机履带板铸造工艺

耐磨件名称：挖掘机履带板（见图 3-37）。

浇注位置：行走导轨面向下，铸件全部位于下型铸造。

加工余量：不加工。

缩尺：2.7%。

浇口特点：扁薄内浇口，由分型面处引入。

冒口特点：设置隔片 2 个，补缩和排气。

外冷铁：在各热节及拐角处摆放专用的成形外冷铁。

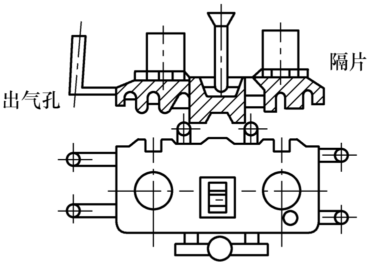


图 3-37　挖掘机履带板铸造工艺

7. 挖掘机铲斗斗齿铸造工艺

耐磨件名称：挖掘机铲斗斗齿（见图 3-38）。

浇注位置：斗齿全部位于下型内。

加工余量：不加工。

缩尺：2.7%。

浇口特点：浇口切向引入冒口，从隔片孔中漏液浇注。

冒口特点：在齿部最厚处设置隔片冒口 1 个，集中补缩。

冷铁：在斗齿两侧工作面，放置成形外冷铁，或采用成形金属模浇注。

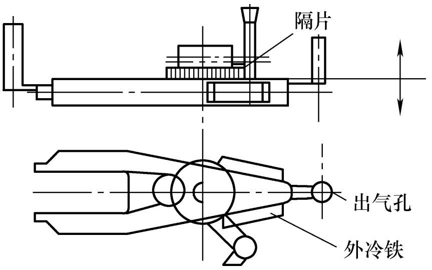


图 3-38　挖掘机铲斗斗齿铸造工艺

8. 挖掘机斗前壁铸造工艺

耐磨件名称：挖掘机斗前壁（见图 3-39）。

浇注位置：将挖掘使用面朝下，两侧板朝上（与铲斗工作位置相同）。

加工余量：在斗前壁与斗后壁的两墙板结合面上，放加工余量 5mm。

缩尺：长度方向 2.0%，下部宽度方向 1.0%，高度方向 2.0%。

浇口特点：从斗底到墙板处，均开设一定数量的分散的内浇口。

冒口特点：在两墙板的最高处设置 4 个冒口，排气和补缩。冒口尺寸：$D=3\delta$，$L=2D$，$H=2D$。

冷铁：局部壁厚处，配合使用外冷铁。

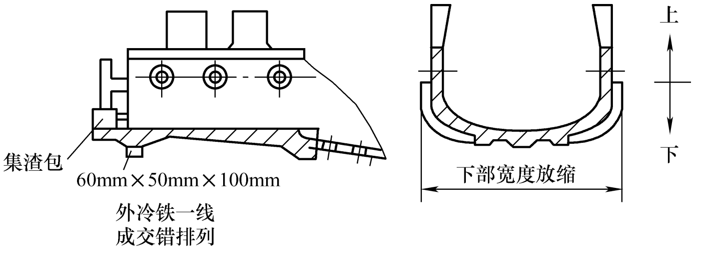


图 3-39　挖掘机斗前壁铸造工艺

9. 圆锥破碎机轧臼壁铸造工艺

耐磨件名称：圆锥破碎机轧臼壁（见图 3-40）。

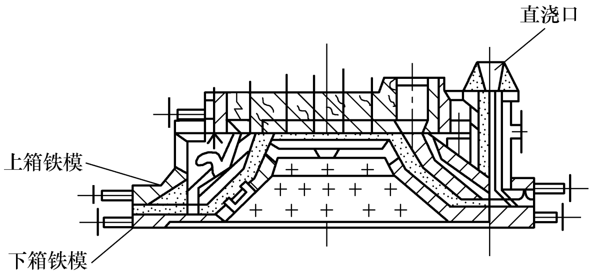


图 3-40　圆锥破碎机轧臼壁铸造工艺

浇注位置：内锥面（使用面）向下。

加工余量：采用铁模挂砂浇注，在 $Ra12.5\mu m$ 处放 4～6mm 余量。

缩尺：直径和高度方向均按2.5%。

浇口特点：内浇口均匀，分散，切向，同向引入型腔。浇注系统不要呈整体刚性结构。

冒口特点：冒口尺寸：$D=(2.5\sim3)\delta$，$L=(1.5\sim2)D$，$H\geqslant1.5D$。冒口根部半径$R=0.3D$（以防冒口根部裂纹）。

外冷铁：铁模挂砂，内外模挂砂厚度为40～50mm，砂型铸造时，使用面上交错摆放外冷铁。

10. 圆锥破碎机破碎壁铸造工艺

耐磨件名称：圆锥破碎机破碎壁（见图3-41）。

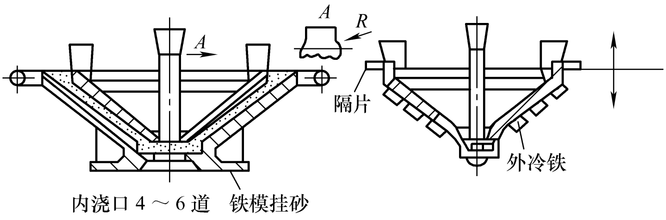


图3-41 圆锥破碎机破碎壁铸造工艺

浇注位置：内锥面（使用面）向下。

加工余量：采用铁模挂砂浇注，在$Ra12.5\mu m$处放4～6mm余量。

缩尺：直径和高度方向均为2.5%。

浇口特点：内浇口均匀，分散，切线同向引入型腔。浇注系统不应呈整体刚性结构。

冒口特点：冒口尺寸：$D=(2.5\sim3)\delta$，$L=(1.5\sim2)D$，$H\geqslant1.5D$。冒口根部半径$R=0.3D$（以防冒口根部裂纹）。

外冷铁：铁模挂砂，内外模挂砂厚度为40～50mm，砂型铸造时，使用面上交错摆放外冷铁。

11. 对辊机辊套铸造工艺

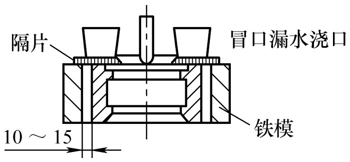


图3-42 对辊机辊套铸造工艺

耐磨件名称：对辊机辊套（见图3-42）。

浇注位置：专用铁模挂砂10～15mm造型，顶注（隔片冒口）或底注（切割冒口）。

加工余量：在需机加工处放4～6mm余量。

缩尺：直径和高度方向均为2.5%。

浇口特点：顶注内浇口通过隔片。底注（切割冒口）内浇口由芯头旁（±15°）斜顶。

冒口特点：隔片冒口顶注，普通切割冒口底注。

冒口尺寸：$D=(2.5\sim3)\delta$，$L\geqslant1.5D$，$H\geqslant1.5D$。

外冷铁：金属卦砂浇注。挂砂厚度$t=10\sim15$mm，金属型厚度$T=(0.8\sim1.0)\delta$。

12. 锤式破碎机锤头铸造工艺

耐磨件名称：锤式破碎机锤头（见图 3-43）。

浇注位置：将锤击破碎时的两磨损面，摆放在铸型的两侧面。

加工余量：全部不加工，要求销孔孔径尺寸准确。

缩尺：2.7%。

浇口特点：内浇口从冒口隔片孔中引入钢液。

冒口特点：采用足够大的隔片冒口补缩。

外冷铁：锤头部分除冒口处外，均摆放成形外冷铁。

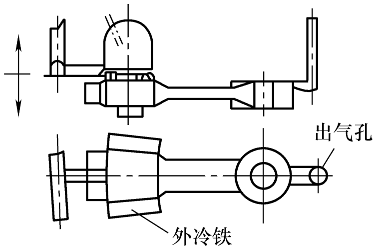


图 3-43　锤式破碎机锤头

3.11.2　耐磨低合金钢铸件铸造工艺案例

1. 大型水泥球磨机第一仓衬板铸造工艺

耐磨件名称：4.5m × 15.11m 大型水泥球磨机第一仓衬板（见图 3-44）。

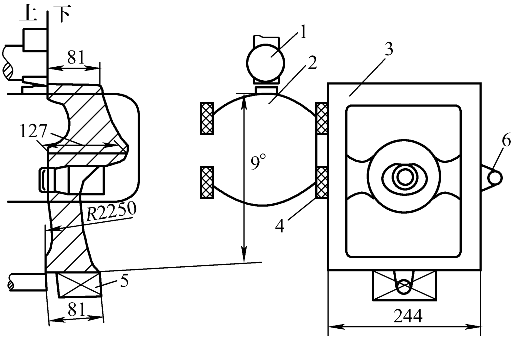


图 3-44　4.5m × 15.11m 大型水泥球磨机第一仓衬板铸造工艺

1—直浇口　2—冒口　3—衬板　4—易隔片　5—外冷铁　6—出气孔

铸件材质：ZG42Cr2MnSi2MoCe。

缩尺：2%。

造型材料：二氧化碳硬化水玻璃砂（石英砂 100% + 膨润土 1% ~ 2% + 水玻璃 8%），涂料采用锆英粉酒精涂料。

冒口特点：易隔片冒口。

冷铁：使用外冷铁。

2. 3.6m × 4m 湿式球磨机衬板铸造工艺

耐磨件名称：3.6m × 4m 湿式球磨机衬板（见图 3-45）。

耐磨件材质：ZG40Cr3CuMoRE 为中碳多元低合金稀土马氏体耐磨铸钢。其成分（质量分数，%）：C0.4 ~ 0.6，Si0.5 ~ 1.3，Mn0.5 ~ 1.0，Cr2 ~ 3.2，Mo0.1 ~ 0.5，Cu0.4 ~ 1.0，适量高效稀土复合变质剂，S、P ≤ 0.05。

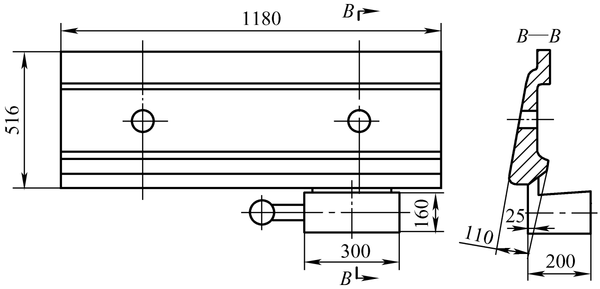


图 3-45　3. 6m × 4m 湿式球磨机衬板铸造工艺

单重与壁厚：330kg，最大壁厚 110mm。

加工余量：铸件表面均不加工。

造型材料：有机酯水玻璃自硬砂。醇基锆英粉涂料。

冒口特点：漂珠保温冒口套。

冷铁：相关部位设置外冷铁。

熔炼工艺：采用酸性中频感应熔炼电炉。工艺如下：先加入废钢和生铁，再加入铬铁、钼铁、铜和锰铁调整成分⟶在出钢前数分钟内，加入硅铁和硅钙脱氧⟶加入适量铝进行终脱氧⟶钢液出炉温度控制在 1560 ~ 1620℃ ⟶在包内采用冲入法加入稀土复合变质剂（粒度 < 10mm，烘干后使用）进行孕育处理⟶往包内撒入适量保温聚渣剂覆盖，并镇静 5min 左右，扒渣 ⟶ 浇注温度控制在 1410 ~ 1450℃。

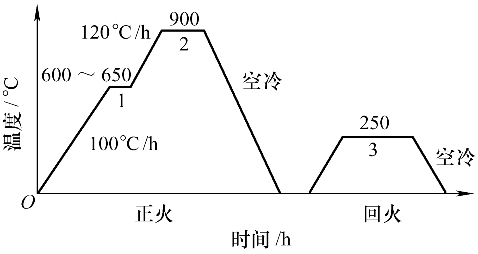


图 3-46　3. 6m × 4m 湿式球磨机衬板的热处理工艺

热处理工艺：该衬板热处理工艺如图 3-46 所示。

热处理后组织：回火马氏体为主 + 少量残留奥氏体 + 少量碳化物。力学性能：硬度 58. 5HRC，冲击韧度 a_K = 22. 8J/cm^2。耐磨性是高锰钢衬板的 2. 1 倍。

3. 11. 3　铸钢阀体的铸造工艺解决方案

1. 铸钢阀体件的结构特点及技术要求

铸钢阀体在高压工况下工作。材质为 ZG230-450。其结构较简单，但壁厚不均匀，三个法兰较厚，外形尺寸为 ϕ180mm × 254mm × 220mm。阀体重量 22kg。批量生产。

阀体要求水压试验，在 6MPa 压力下持续 20min 以上不得渗漏。因此，铸件不允许有缩孔、缩松等缺陷，内外表面必须打磨光滑、清除干净，不得有粘砂、氧化皮、飞翅、毛刺等缺陷。

2. 铸造工艺解决方案

（1）浇注位置和分型面的选择　有两种工艺方案供分析选择：

方案一：垂直浇注方案（平作立浇）。即让 ϕ180mm 的法兰向上，采用顶冒口进行补缩。由于冒口位置高于阀体，有利于补缩。分型面通过三个法兰的中心线，容易起模。但此方案操作复杂，不宜采用。

方案二：模板造型、水平浇注方案（平作平浇）。如图 3-47 所示。分型面仍选择通过三个法兰的中心线。铸件按定向凝固原则，采用侧暗冒口进行补缩。但此方案侧暗冒口的补缩效果差于顶冒口，因此，采用大气压力冒口以增强补缩效果。这种“平作平浇”方案为拼箱、实现一型多铸提供了条件。

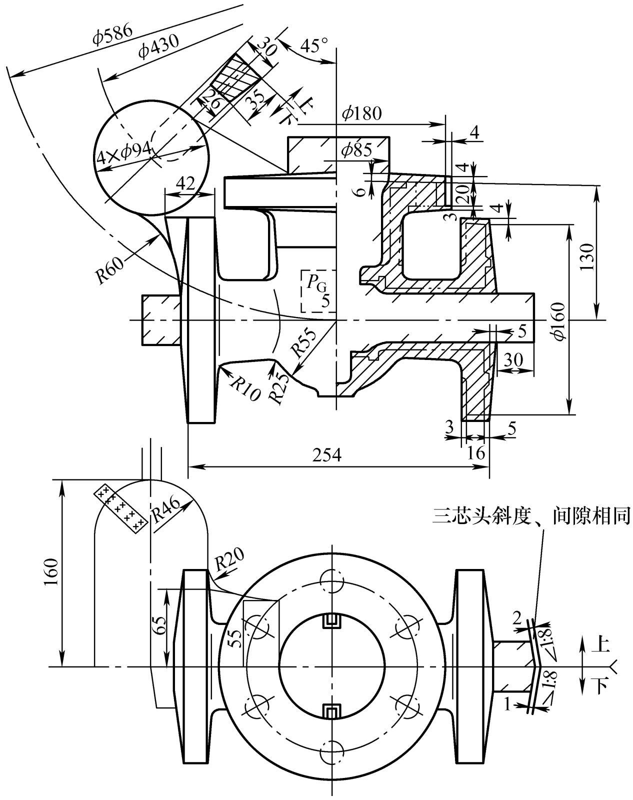


图 3-47　铸钢阀体铸造工艺图

设置 4 个大小相同的大气压力侧暗冒口。每个冒口同时补缩两相邻铸件，冒口的补缩颈与两个厚法兰边相连。模板布置如图 3-48 所示。每型可布置 4 件阀体。砂箱尺寸为 800mm × 800mm/200mm。

采用水玻璃砂造型、热芯盒制芯；或采用树脂砂造型、制芯工艺。此方案操作方便，生产效率高，故采用此方案。

（2）冒口形式、位置、数量及尺寸的计算　采用拼箱浇注，一型 4 个铸件，同时也设 4 个冒口。可视为一个冒口补缩一个铸件。

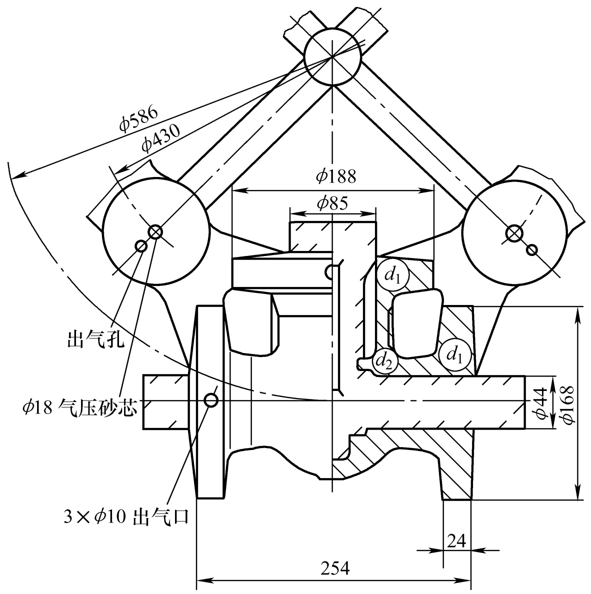


图 3-48　阀体在模板上的布置图

阀体材质是牌号为 ZG230-450 铸钢，其体收缩率为 3%，钢的密度为 7.8kg/dm^3，主、侧法兰热节圆直径 $d_1=36$mm。可计算出该件从浇注到凝固完毕所需要补缩的钢液体积。将此体积视为球形，计算出其直径 d_0，把 d_0 加上热节圆直径 d_1 作为冒口的最小直径。d_0 按下式求得：

$$d_0=\sqrt[3]{\frac{6}{\pi}\times 0.03\times\frac{22\times 10^3}{7.8}}\text{cm}=\sqrt[3]{164}\text{cm}\approx 5.5\text{cm}=55\text{mm}$$

冒口直径 $d=d_0+d_{节}=(55+36)\text{mm}=91\text{mm}$，取 95mm。

冒口高度按经验关系求得：

$H=1.7d=161\text{mm}$，取 160mm。

冒口全部放在上型内，使用 ϕ18mm 的大气压力砂芯，插入冒口深度为 50mm。

（3）补缩通道与补贴方案　如图 3-48 所示，因铸钢的体收缩率较大，铸件壁厚不均匀，并且自然形成五个热节区，即三个法兰与本体相交处，存在三个热节圆直径 $d_1=36$mm 的环形热节。这三个热节可使用侧暗冒口实现定向凝固。因距侧暗冒口近，冒口中炽热的钢液直接补缩热节。此外，阀体中心部位还存在两个近似环形的热节区，其热节圆直径 $d_2=20$mm。这两个热节被薄壁部分将冒口隔开，侧冒口无法对它进行补缩。为防止这两处产生缩孔、缩松，采用补贴的办法（此处是在薄壁上加工艺肋），在侧冒口和内部热节区之间造成补缩通道。减少了冒口数量，节约了钢液。

补贴有两种方案：第一种补贴方案如图 3-49a 所示。这种补贴（工艺肋）设在侧法兰和内部热节之间，需要在清理时割除掉，故有较大的切割工作量，并且影响外观质量，不宜采用。

第二种补贴方案如图 3-49b 所示。铸件外形变化不大，只增加了 4mm × 30mm 两条扁平补贴，内部也只增加 10mm 厚的两条月牙形补贴。但对使用没有影响，且增加阀体的强度和刚度，清理时不用割掉。故采用此补贴方案。

补贴尺寸如下：补贴厚度按经验比例关系取 $1.2d_1 = 1.2 \times 36\text{mm} = 42\text{mm}$。

补贴高度按冒口高度的 0.4 倍选取，则 $0.4H = 0.4 \times 160\text{mm} = 64\text{mm}$，取 65mm。

为了使阀体内部阀座处的两个热节区（$d_2 = 20\text{mm}$）能得到补缩，按第二种补贴方案增加两条补贴。其大小根据热节圆滚圆法确定。因内腔过小，阀座处装配不变，所以补贴未全部加在内部，向阀体外部借出 4mm，见图 3-49b。

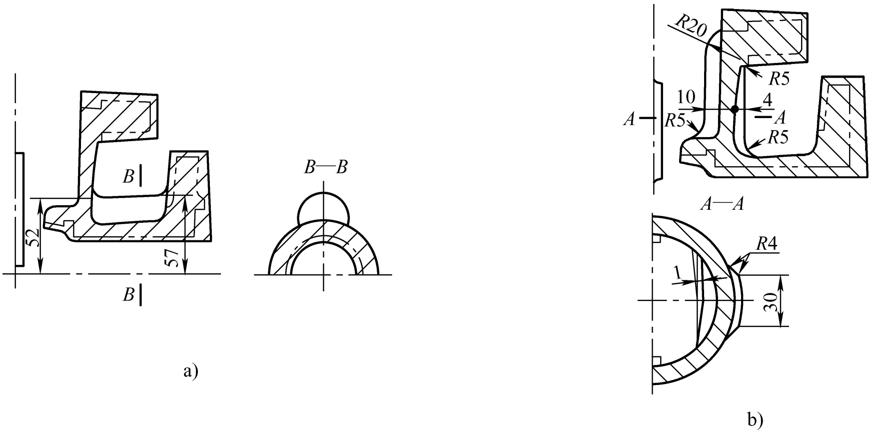


图 3-49　补贴
a）第一种补贴方式　b）第二种补贴方式

3. 铸造工艺参数

1）铸造线收缩率：2%。两侧法兰之间因收缩受到阻碍，线收缩率取 1%。

2）加工余量：均取 3 ~ 4mm。但考虑到起模斜度，加工余量最大处可增至 7mm。

3）工艺出品率：每型金属总重量 143kg，浇冒口重量为（143 − 88）kg = 55kg。则铸件工艺出品率为

$$\text{工艺出品率} = \frac{88}{143} \times 100\% = 62\%$$

据资料，类似的铸钢阀体，水玻璃砂型、油砂芯、铸造工艺相同，因使用发热冒口使得工艺出品率达 72%。可见，采用实用先进的工艺技术，有利于保证铸件质量，还有利于提高经济技术指标。

3.11.4　铸钢大型齿轮的铸造工艺解决方案

1. 80t 启闭机大齿轮的结构特点及技术要求

80t 启闭机大齿轮如图 3-50 所示。铸件重量为 1330kg，单件生产。

结构特点：大齿轮齿顶圆直径为 ϕ1334mm，单辐板，靠近轮毂部分辐板较薄（40mm），一侧分布有 6 条厚度为 25mm 的肋条。辐板的外围稍厚（70mm）。考虑加

工余量后，铸件的轮缘及中央轮毂处较厚，在轮缘与辐板交接处形成热节，热节圆直径达 ϕ140mm。轮毂和辐板交接处形成热节，热节圆直径为 ϕ80mm。因此，其结构特点是厚实的中央轮毂、薄壁的辐板、厚大的轮缘。

技术要求：材质为 ZG340-640。ZG340-640 钢的化学成分（质量分数,%）要求：C 0.52 ~ 0.62、Mn 0.50 ~ 0.80、Si 0.2 ~ 0.45、S ≤0.04、P≤0.04。力学性能要求：$\sigma_b \geqslant$650MPa、$\delta \geqslant$10%。铸件加工前，应经正火 + 回火处理，硬度为 160 ~ 210HBW。

该铸钢大齿轮在机器中主要用来传送扭矩。因此，要求铸件不得有缩孔、缩松，内外表面无气孔、夹砂结疤、砂眼、渣气孔、粘砂等缺陷，以保证强度。

由于该铸件的质量要求较高，因此，应优选铸造工艺方案。

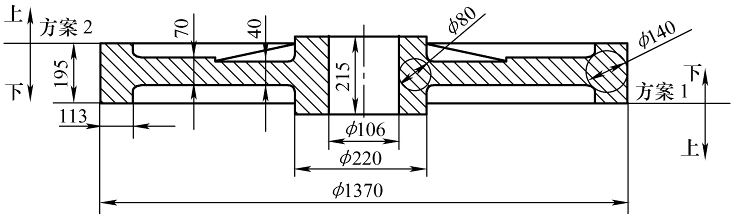


图 3-50　ZG340-640 大齿轮铸造工艺方案

2. 铸造工艺方案

（1）浇注位置和分型面的选择方案　该大齿轮的铸件简图及浇注位置方案，如图 3-50 所示。方案 1 和方案 2 都可行。由于 70mm 的厚辐板及 6 条肋都偏向一侧，故方案 2 优于方案 1。这样，在轮毂上方设置冒口，6 条肋都可起到增大补缩通道的作用，能更有效地对 40mm 辐板处进行补缩。轮缘冒口对 70mm 厚辐板处补缩，由于补缩距离较近而更有效，因此，决定采用方案 2。

分型面通过轮缘上表面。浇注位置为：使 6 条肋呈向上位置，轮毂中央设置砂芯，采用旋转刮板造型，6 条肋、个别小搭子及冒口须制作模样。

（2）凝固顺序分析及冒口设计

1）顺序凝固分析。铸钢的体收缩率大，且齿轮的轮缘和轮毂部分厚大，与辐板的交接处形成热节区，很容易形成缩孔、缩松缺陷，因此，宜采用定向凝固原则。在轮缘、轮毂分别设置冒口。在浇注后，薄壁的辐板先凝固，其液态和凝固收缩分别由厚壁的轮缘和轮毂处的钢液补给，冒口最后凝固，用来补给轮缘及轮毂处凝固时所需要的钢液，以便消除缩孔和缩松。

2）冒口设计。经计算，确定在轮缘处采用 1# 腰圆形冒口 4 个，冒口尺寸为 240mm × 480mm × 310mm，冒口总重量为 2060kg，轮毂处采用一个 2# 半球形冒口，冒口重量为 77.6kg，具体尺寸和安放位置参见图 3-51 的铸造工艺图。

（3）浇注系统设计　某重工机械公司采用 5t 电弧炉炼钢，7t 漏包进行浇注。根据工厂经验，对于大齿轮要求型内液体金属的上升速度不小于 15mm/s，以此来计算确定 7t 漏包的包孔直径为 ϕ60mm，浇注时间为 15s。再以包孔截面积来选择浇注系统各截面。因铸件高度小，内浇道可由分型面经冒口引入，见图 3-51。

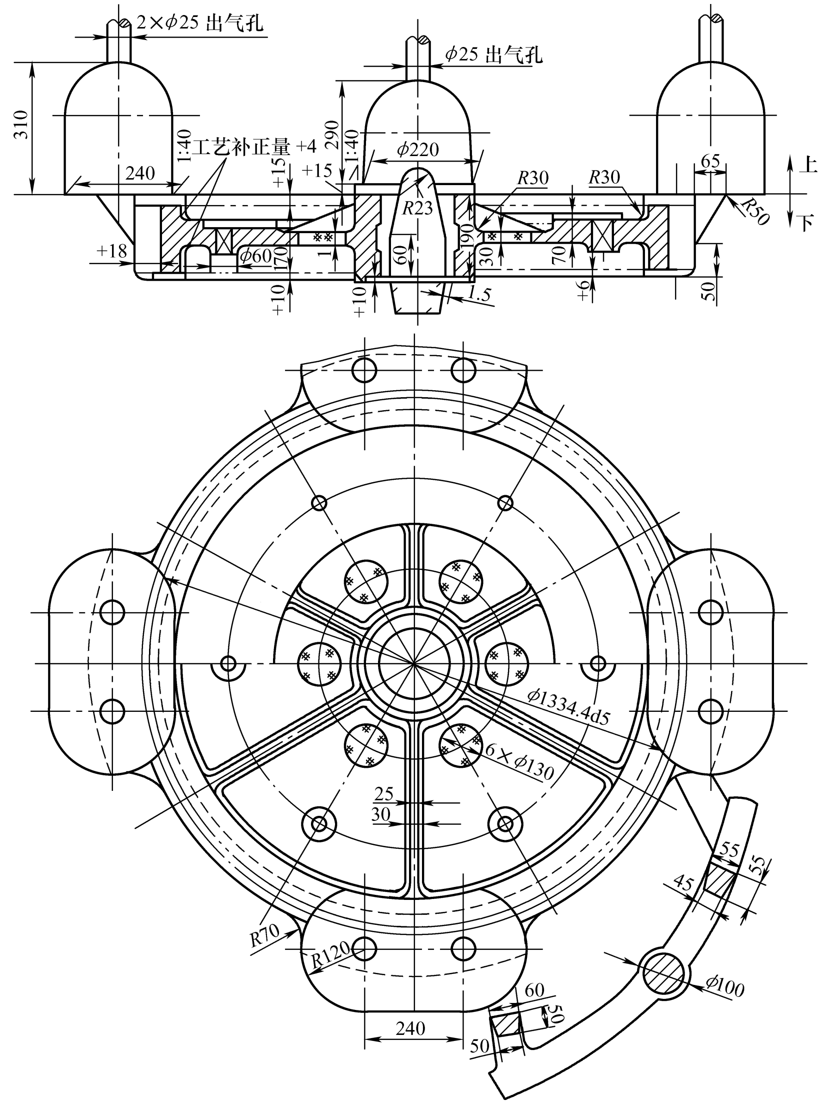


图 3-51　ZG340-640 大齿轮铸造工艺图

直浇道直径为 ϕ100mm，高 400mm，重量 23. 6kg；

横浇道为双向，梯形截面 55mm/45mm × 55mm，总长 1500mm，重量 32kg；

内浇道 2 道，截面也为梯形 60mm/50mm × 55mm，总长 1000mm，重量 22kg。

浇注系统总重量 77. 6kg。

（4）主要工艺参数

1）铸件线收缩率 2%。

2）轮缘的工艺补正量，以齿轮的生产经验，取 $e = 4$mm。

3）机械加工余量，考虑到是刮板造型，精度较差，适当放大些。上面加工余量

15mm，底面取 10mm，齿轮顶外圆取 18mm，中央轮毂内孔取 12mm。

4）采用水玻璃砂造型，干型浇注。

5）型砂成分（质量分数,%）：硅砂（分组代号 30 号）100，白泥 5，水玻璃（模数 2.2）7。

3.11.5 箱体类、筒体类、轮盘类铸铁件的铸造工艺方案特点

各种机器装备结构上，常有箱体类、筒体类、轮盘类等铸铁件，它们的铸造工艺解决方案各有其特点，掌握这些方案特点，对获得优质铸件、提高机械装备性能很有必要，见表 3-151。

表 3-151　箱体类、筒体类、轮盘类铸铁件的铸造工艺解决方案

分类	结构特征	工艺解决方案特点	预防的铸造缺陷
箱体类	箱体铸件一般指封闭或半封闭的箱形或框形铸件。如齿轮箱、床身、柴油机缸体等 其特征是内腔容积大、尺寸要求较高、壁较薄，有些铸件内腔具有隔板及轴孔，有些要求铸件耐压及耐磨 其铸造难度相对较高	重点应考虑砂芯的制作、安放、固定、排气、检查等问题。浇注系统应满足快速、平稳、顺利排气的要求 一般按同时凝固的原则设计浇冒口	气孔、夹砂、冷隔、裂纹等
筒体类	筒体类铸件根据其直径与高度比的不同，分为长筒类和短筒类	这类铸件的铸造工艺方案有立浇和平浇两大类。立浇又可分为“平作立浇”和“立作立浇”，前者适用于长筒，后者适用于短筒 相对而言，立浇的铸件质量要优于平浇，但其操作较麻烦 立浇常采用顶注雨淋式、底注雨淋式，或多层阶梯式浇道。平浇常采用中注式浇道	渗漏，冷隔
轮盘类	轮盘类铸件包括齿轮、带轮、涡轮、叶轮、飞轮等铸件。由于轮缘和轮毂及上下端面通常均需要机械加工，故对铸件质量要求较高，尤其在齿面和轴孔处不允许有任何铸造缺陷 一般轮类铸件的壁厚差较大，故其铸造应力较大。此外，厚壁较大的轮缘和轮毂处是热节区，易形成缩孔或缩送	针对该类铸件的结构特点，铸造工艺常采用多而分散的内浇道，使金属液平稳而快速地充型 为保证热节区的铸造质量，工艺上常采用冒口补缩，或冒口与冷铁配合使用的方案	缩孔、缩松、气孔、砂眼、渣眼等 某些壁厚差较大的铸件也会因铸造应力过大而产生裂纹

第4章　造 型 材 料

合理选用各种造型材料，对于提高铸件质量、降低成本、提高生产效率和车间清洁化生产，提高铸件市场竞争力，有着重要意义。

4.1　铸造用原砂

铸造用原砂分两大类：硅砂和特种砂。

4.1.1　硅砂

铸造用硅砂是以石英（SiO_2）为主要矿物成分、粒径为0.020～3.350mm的耐火颗粒物。按其开采和加工方法的不同，分为天然硅砂（水洗砂、擦洗砂、精选砂）和人工硅砂。

1. 铸造用硅砂分级

（1）按矿物组成分级　铸造用硅砂按二氧化硅含量分级和化学成分见表4-1，含泥量分级见表4-2。

表4-1　铸造用硅砂按二氧化硅含量分级和化学成分（GB/T 9442—2010）

分级代号	SiO_2(质量分数,%)	杂质化学成分(质量分数,%)			
		Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO + MgO	$K_2O + Na_2O$
98	≥98	<1.0	<0.3	<0.2	<0.5
96	≥96	<2.5	<0.5	<0.3	<1.5
93	≥93	<4.0	<0.5	<0.5	<2.5
90	≥90	<6.0	<0.5	<0.6	<4.0
85	≥85	<8.5	<0.7	<1.0	<4.5
80	≥80	<10.0	<1.5	<2.0	<6.0

注：硅砂中石英的含量越高，杂质的含量越低，其耐火度就越高。

表4-2　铸造用硅砂含泥量分级（GB/T 9442—2010）

分级代号	最大含泥量(质量分数,%)	天然硅砂技术指标
0.2	0.2	硅砂含泥量应符合本表规定。精选砂、擦洗砂、水洗砂的含泥量如下：精选砂，w(泥)≤0.2%；擦洗砂，w(泥)≤0.3%；水洗砂w(泥)≤1.0%
0.3	0.3	
0.5	0.5	
1.0	1.0	

注：铸造用硅砂中粒径小于0.020mm颗粒的质量占砂样总质量的百分比称含泥量。铸造用硅砂的含泥量应符合本表规定。

（2）按颗粒特性分级　颗粒特性主要指硅砂的粒度、均匀度及形状。

1）粒度。铸造硅砂粒度的控制和表示方法有两种，一种是筛号，另一种是平均细度。铸造用硅砂的粒度按铸造用试验筛进行分析，铸造用试验筛筛号与筛孔尺寸的关系见表4-3。平均细度反映某一种铸造用硅砂平均颗粒尺寸的参数，平均细度偏差分级见表4-4。

表4-3　铸造用试验筛筛号与筛孔尺寸的关系（GB/T 9442—2010）

筛号	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270	底盘
筛孔尺寸/mm	3. 350	1. 700	0. 850	0. 600	0. 425	0. 300	0. 212	0. 150	0. 106	0. 075	0. 053	—

注：1. 粒度组成通常用残留量最多的相邻三筛的前后两筛号表示，如50/100表示该砂集中残留在50、70、100三个筛中，并且50号筛中的残留量比100号筛中的多。若100号筛中的残留量比50号筛中的多，则用100/50表示。

2. 砂粒越大则型砂耐火度越高，透气性越好，但强度降低，铸件表面粗糙。生产中主要根据铸件大小、表面粗糙度要求、工艺类别来选用硅砂粒度。

表4-4　铸造用硅砂按平均细度偏差分级（GB/T 9442—2010）

分级代号	A	B	C	D
偏差值	±2	±3	±4	±5

注：平均细度是以原砂的比表面积来衡量砂的粒度的。根据计算，各组硅砂平均细度的中值正好是该组硅砂前筛号的数字。例如，50/100筛号的硅砂，其平均细度的中值为50。这对以合成树脂为粘结剂的型芯砂，更具有实际意义。

2）均匀度。砂粒集中则粒度均匀，粒度越均匀，则透气性好。

3）颗粒形状。用角形因数描述硅砂颗粒的几何形状。颗粒形状、角形因数分级见表4-5。

表4-5　铸造用硅砂按颗粒形状、角形因数分级（GB/T 9442—2010）

颗粒形状	圆形	椭圆形	钝角形	方角形	尖角形
分级代号	○	○—□	□	□—△	△
角形因数	≤1. 15	≤1. 30	≤1. 45	≤1. 63	>1. 63

注：角形因数是硅砂的实际比表面积与理论比表面积的比值。角形因数越接近1，则砂粒形状就越接近圆球形；角形因数越大，则砂粒形状就越接近于尖角形。圆形砂粒组成的空隙最大，透气性最好。尖角形砂粒表面积较大，需要较多的粘结剂。当使用有机树脂粘结剂时，由于树脂价格较贵，热解时会有大量气体产生，其加入量必须很少，颗粒形状就很重要。

（3）铸造用硅砂按用途分级（见表4-6）

表4-6　铸造用硅砂按用途分级

按用途分级	铸钢件用硅砂			铸铁件用硅砂		
技术指标	合格砂	一等砂	优等砂	合格砂	一等砂	优等砂
二氧化硅含量(质量分数,%)	≥96	≥97	≥98	≥85	≥90	≥93

（续）

按用途分级	铸钢件用硅砂			铸铁件用硅砂		
技术指标	合格砂	一等砂	优等砂	合格砂	一等砂	优等砂
含泥量（质量分数，%）	≤1.0	≤0.5	≤0.2	≤0.1	≤0.7	≤0.3
角形因数	—	≤1.45	≤1.3	—	≤1.45	≤1.3

注：对于每批硅砂供方都必须提供产品质量合格证。质量合格证内写入供方对所供的每批硅砂按技术要求进行检验的结果和牌号。需方对硅砂质量检验中如有一项指标不符合标准规定时，应在同批产品中重新加倍抽样进行复检。复检结果仍不符合规定时，由供需双方协商解决，或委托仲裁单位裁定，仲裁单位由双方协商选定。

2. 铸造用硅砂的牌号

牌号的表示方法（GB/T 9442—2010）如下：

ZGS ××—×××/×××（×× ×）

- ×（末位）——平均细度偏差分级代号
- ××（括号内）——平均细度值
- ×××（斜线后）——主要粒度组成的尾筛筛号
- ×××（斜线前）——主要粒度组成的首筛筛号
- ××——二氧化硅分级代号
- ZGS——铸造用硅砂（铸、硅、砂的汉语拼音第一个字母）

示例：牌号ZGS 90-50/100（54 A）。表示该牌号硅砂的最低二氧化硅质量分数为90%，主要粒度组成为三筛，其首筛筛号为50，尾筛筛号为100，其粒度的平均细度值为54，平均细度偏差为±2。

3. 铸造用硅砂的技术要求（GB/T 9442—2010）

（1）化学成分　以二氧化硅含量作为主要验收依据，杂质含量作为验收参考依据，应符合表4-1的规定。

（2）含泥量　应符合表4-2的规定。

（3）平均细度和粒度组成　对任一牌号的硅砂，生产厂家都需提供其平均细度及粒度分布图表。硅砂主要粒度组成部分三筛不小于75%，四筛不小于85%，五筛不小于95%。平均细度偏差值应符合表4-4的规定。

（4）含水量　袋装烘干硅砂的含水量不大于0.3%（质量分数）。

（5）酸耗值　使用化学粘结剂时，铸造用硅砂的酸耗值不大于5.0mL。

（6）角形因数　铸造用硅砂应按表4-5的规定标明。

（7）细粉含量　铸造用硅砂根据粒度组成，其细粉含量应符合表4-7的规定。其他粒度组成的细粉含量由供需双方协商确定。

（8）特殊要求　如需方对标准未列项目如烧结点、灼烧减量等有特殊要求，供需双方可在订货协议中规定。

表 4-7　铸造用硅砂粒度组成及其细粉含量（GB/T 9442—2010）

粒　　度	细粉含量(质量分数,%)		
	擦洗砂	水洗砂	人工硅砂
30/50	≤0.1	≤0.5	≤0.5
40/70	≤0.1	≤1.0	≤1.0
50/100	≤0.4	≤3.0	≤1.5
70/140	≤0.7	≤3.5	≤2.0
100/200	≤8.0	≤10.0	≤10.0

4.1.2　特种砂

除硅砂以外的各种铸造用砂，均称为特种砂（或称非硅质砂）。与硅砂相比，特种砂大都具有耐火度高、导热性好、热膨胀小、抗熔渣侵蚀能力强等特点，但其价格昂贵、资源较为短缺。主要用于合金钢或容易粘砂的碳钢铸件。在选用特种砂时，特别要注意了解其抵抗所浇注的金属液体及表面氧化渣润湿和侵蚀的能力。

1. 石灰石砂

将天然石灰岩经机械破碎、筛选、分级而制成的铸造用砂，称为石灰石砂。常见的石灰石砂呈白色或灰白色的多角形颗粒，杂质会使石灰石砂染成浅黄、浅红、灰黑、黄褐等色。石灰石砂常用于大型铸钢件生产。

（1）矿物组成

1）铸造石灰石的主要矿物组成是方解石，还含有少量的白云石、硅石、铁矿石等。方解石属于完全解理，莫氏硬度为 3 级，硬度比石英低得多。石灰石砂按矿物组成分三类：石灰石类、大理石类和白云石类。

2）铸造石灰石的主要化学成分是 $CaCO_3$，含有少量 MgO、Al_2O_3、SiO_2 及微量其他氧化物和硫化物。铸造石灰石应限制 MgO 含量，实际上是限制 $MgCO_3$ 的含量，因 $MgCO_3$ 含量高时受热分解，使铸件表面粗糙；限制 SiO_2 的质量分数小于 6%，因为它是矽尘根源，又使铸件粘砂，特别是高锰钢铸件。石灰石砂分级与化学成分见表 4-8。

表 4-8　石灰石砂分级与化学成分（质量分数）　　　　（%）

原砂类型	级别	CaO	MgO	SiO_2	应　　用
石灰石及大理石	1	≥52	—	—	大型铸钢件型芯砂
	2	≥50	<2.0	<2.0	
	3	≥48	<4.0	<3.0	中小型铸钢件型芯砂
	4	≥45	<8.0	<6.0	
白云石	—	≥35	9～17	<3.0	

（2）颗粒特性

1）粒度。铸造用石灰石砂按粒度大小分为五组，见表 4-9。

表 4-9　铸造石灰石砂的粒度分组

筛号	旧筛号	主要粒度组成部分筛孔尺寸/mm		
20/40	4 号砂	0.45	0.600	0.425
30/50	4 号半砂	0.600	0.425	0.300
40/70	5 号砂	0.425	0.300	0.212
50/100	5 号半砂	0.300	0.212	0.150
70/140	6 号砂	0.212	0.150	0.106

注：1. 石灰石砂的粒度，除表中的五组是三筛制外，有些厂采用四筛制两种，即 20/50（0.850 ~ 0.300mm）和 30/70（0.600 ~ 0.212mm）；五筛制，即 20/70（0.850 ~ 0.212mm）；二筛制，即 30/40（0.600 ~ 0.423mm）。

2. 石灰石砂含粉量高，降低型砂透气性，降低油砂干强度，一般限制含粉量小于 0.075mm 的粒径质量分数应小于 3% ~5%。

2）原砂均匀度。表 4-9 中各组砂子粒度集中率应大于 85%，除主要粒度组成部分以外，上部各筛粗粒总和应小于下部各筛细粒之和。

3）砂粒形状。石灰石砂经加工后所得到的砂粒形状分为近似圆形、多角形、尖角形、条形和片形。实际上使用的原砂形状是上述形状之混合物。

条形和片形的砂子使型砂透气性、流动性等工艺性能显著降低，因此，技术标准中规定原砂颗粒形状为近似圆形和多角形，尽量避免使用条形和片形。

（3）石灰石砂的应用特点（见表 4-10）

表 4-10　石灰石砂的应用特点

特　　点		与铸件质量的关系
高温特性	1）造型用石灰石砂是未经煅烧的原矿，耐火度为 2300℃，但其主要组分碳酸盐在高温（700 ~ 900℃）时分解分化，产生较多的 CO_2 气体。属于碱性耐火材料，与高温碱金属接触时化学稳定性较好	
	2）石灰石砂主要化学成分是碳酸钙 $CaCO_3$，在浇注中碳酸钙在 700 ~ 900℃下分解，生成氧化钙和二氧化碳。这种氧化性气体在高温时又能使铁氧化生成氧化铁： $CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2\uparrow$ $Fe + CO_2 \longrightarrow FeO + CO\uparrow$ $3FeO + CO_2 \longrightarrow Fe_3O_4 + CO\uparrow$ $2Fe_3O_4 + CO_2 \longrightarrow 3Fe_2O_3 + CO\uparrow$ 可见，在浇注时，石灰石砂放出大量的一氧化碳和二氧化碳气体，其发气量比硅砂发气量高得多	由于发气量大，铸件产生气孔的倾向增加
	3）生成的氧化钙（CaO）、氧化铁（FeO）以及型砂中二氧化硅（SiO_2）三者又能生成一组低熔点（1280 ~ 1310℃）玻璃状固溶体，这种低熔点非晶体化合物不会粘在铸件上，很容易从铸件上脱落下来。这就是石灰石砂作为新造型材料使铸件表面光洁、容易清砂的重要因素	不粘砂、易清砂，使铸钢件表面光洁。可见，石灰石砂中氧化钙含量越高越好，其他杂质的含量越低越好
	4）石灰石砂加热时，线膨胀率不大。因此，高温时铸型内应力不大，烘干后砂型表面很少出现裂纹	基本上消除了夹砂缺陷

（续）

特　点		与铸件质量的关系
耐碾性	石灰石砂硬度较低，莫氏硬度为3级，耐碾性差，易粉碎，易细化	当粒径小于0.212mm的细粒含量高时，导致型砂性能恶化，影响铸件质量。铸钢用石灰石砂对细度应有限制

在混砂过程中石灰石砂的粉碎程度可用耐碾性评定，其评定方法见表4-11。

表4-11　铸造用石灰石砂耐碾性的评定方法

试验用设备	碾轮与底盘间距/mm	干砂样（已筛去0.212mm细粒的干砂）/kg	碾压时间/min	碾压后的干样，通过0.212mm筛的细粒砂/kg	耐碾性的评定（质量分数）	
					$\frac{X}{5}$	耐碾性
碾轮式小混砂机	10	5	5	X	<5%	优
					5% ~15%	中
					>15%	劣（不宜用）

注：由表看出，细粒量<5%的耐碾性为优等，细粒量5% ~15%的耐碾性为中等，细粒量>15%的则不宜使用。如果采用水洗和擦洗石灰石原砂，则效果良好。

2. 各种特种砂的特性、应用及技术指标（见表4-12、表4-13）

表4-12　特种砂的特性及应用

序号	特种砂名称	特　性	适 用 范 围
1	锆砂	锆砂具有很高的耐火度、高的导热性、小的热膨胀性。在高温下表现为中性至弱酸性，与碱性渣反应缓慢，与熔融碱反应很快，与熔融酸和氧化物（SiO_2）反应缓慢，适应性很广	用作大型铸钢件厚壁处和各种合金钢铸件的面砂、涂料、涂膏
2	镁砂	镁砂属于碱性材料，抗碱性熔渣的能力强，抗酸性渣的能力稍差	适用于作高锰钢铸件的型、芯砂的涂料、涂膏；对于铸造过程中热应力很大的型、芯也可采用镁砂
3	橄榄石砂	橄榄石砂无硅尘危害，不与铁和锰的氧化物反应，具有较强的抗金属氧化物侵蚀的能力，是一种较好的造型材料	橄榄石砂可用作中型铸钢件，特别是高锰钢铸件的面砂。V法生产高锰钢铸件如炉箅、道岔等，国内外多采用橄榄石砂
4	铬铁矿砂	铬铁矿砂具有很好的抗碱性渣的作用，不与氧化铁等发生化学反应。热导率比硅砂大好几倍，而且在熔融金属浇注过程中铬铁矿本身发生固相烧结，从而有利于防止熔融金属的渗透	主要用作大型铸钢件和各种合金钢铸件的型、芯面砂，抗粘砂涂料、涂膏

（续）

序号	特种砂名称	特性	适用范围
5	钛铁矿砂（也称 S_1 砂）	外观为铁黑色或棕黑色细颗粒，价格比硅砂贵比锆砂便宜。密度 4.7g/cm^3，莫氏硬度 4～6级，熔点 1450℃，导热性、蓄热性与铬铁矿砂相近 天然金红石属于一种高钛矿物，也可作原砂	钛铁矿砂由于熔点较低，仅适用于铸铁用原砂 金红石砂可用作铸钢用砂。单独（或与硅砂混合）使用可提高混合料的导热性，加速铸件冷却
6	钛渣砂、铬渣砂、钒渣砂	钛渣砂（耐火度 1750～1790℃）属于碱性砂，抗碱性熔渣的能力强。铬渣砂（耐火度 1850～2000℃）、钒渣砂（耐火度大于 1800℃）两者相近	钛渣砂、铬渣砂、钒渣砂均可作大型铸钢件的型、芯面砂。铬渣砂粉也可用于配制涂料
7	刚玉砂	刚玉的热导率大，高温时体积稳定且不易龟裂。在高温下一般呈碱性，有时也呈现中性。结构致密，抗酸和抗碱性强，在氧化剂、还原剂或各种金属液作用下不发生变化	刚玉砂适用于大型铸钢件，特别是合金钢铸件的型、芯面砂、涂膏和涂料
8	耐火熟料（铝矾土砂、焦宝石砂、煤矸石砂）	耐火熟料的热膨胀量小，高温下体积稳定，耐火度高，抗渣性好，铁及其氧化物对它们的浸润性都比石英低。是一种典型的两性氧化物，根据成分不同，在高温时有时呈现显著的碱性，有时也呈现中性	耐火熟料可以用作大型铸钢件的型、芯面砂、涂料和涂膏
9	碳质砂	碳质砂包括石墨、废石墨电极、废石墨坩埚碾碎成的颗粒，以及冲天炉打炉后未燃烧的焦炭碾碎成的颗粒。碳质砂为中性材料、耐火度高。铸造业使用的多为中碳石墨	特别适用于作高温下易氧化的钛合金和各种非铁合金铸造用砂，也可以用于铁质金属铸造。鳞片状石墨和无定形（土状）石墨还用于配置铸造用涂料

表 4-13 特种砂的技术指标

序号	原砂类别	主要组成	密度 /(g/cm^3)	莫氏硬度	耐火度 /℃	不同温度下的热导率		不同温度下的线胀系数	
						温度 /℃	热导率 /[W/(m·K)]	温度 /℃	线胀系数 /($\times10^{-5}$/K)
1	锆砂	硅酸锆 $ZrSiO_4$	4～4.7	7～8	2430（1500开始分解）	1200	2.09～3.30	20～1200	0.55
2	镁砂	氧化镁 MgO	3.35～3.58	6～7	2000	1200	2.554～5.86	20～1400	1.4
3	刚玉砂	Al_2O_3	3.8～3.9	9	2000～2500	1200	2.38～5.275	20～1580	0.8
4	耐火熟料	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	2.4～2.45	5～6	1750	1200	2.68～3.433	20～1320	0.45
5	石墨（电极）	C	2.01～2.58	1	2100～3000	1000	43.96（117.23）	0～1000	0.14

（续）

序号	原砂类别	主要组成	密度/(g/cm^3)	莫氏硬度	耐火度/℃	不同温度下的热导率		不同温度下的线胀系数	
						温度/℃	热导率/[W/(m·K)]	温度/℃	线胀系数/(×10^{-5}/K)
6	铬铁矿砂	$FeO \cdot Cr_2O_3$	4～4.8	5.5～6	1900	—	—	100～1100	0.82
7	橄榄石砂	$(MgFe)_2SiO_4$	3.2～3.6	6～7	1700～1800	1000	1.67	—	—
8	钛渣砂		3.18～3.55	7～8.5	1750～1790	—	—	—	—
9	铬渣砂		3.68	9	1850～2000	—	—	—	—
10	钛铁矿砂	$FeTiO_3$	4.7	4～6	1450	—	—	—	—

4.2　粘土砂

粘土砂由原砂、粘土、水、附加物按一定比例配制而成。按不同使用条件可分为粘土湿型砂、干型砂和表干型（见表面干型砂）三类。

4.2.1　粘结剂——粘土

粘土是一种天然土状细颗粒材料，来源丰富，价格便宜，用它做粘结剂配制的型砂可获得足够的强度和良好的塑性，故在铸造生产中广泛应用。

1. 粘土的矿物组成及粘结能力（见表 4-14）

表 4-14　粘土的矿物组成及粘结能力

<table>
<tr><td>矿物组成</td><td colspan="2">1）粘土由石英(SiO_2)、三氧化二铝(Al_2O_3)及微量金属氧化物、硫化物等矿物组成
2）粘土中金属氧化物、硫化物的存在，降低了粘土耐火度，使铸件易产生化学粘砂，故称之为杂质
3）粘土主要成分：水化硅酸铝($mAl_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot xH_2O$)
4）粘土矿物的结晶结构有两层型(如高岭石)、三层型(如蒙脱石)、规则混合层型和链状构造型。不同结晶结构的粘土矿物具有不同的性质</td></tr>
<tr><td rowspan="3">粘结能力</td><td>粘土本身质点的结构</td><td>粘土是由细小结晶质的粘土矿物组成的，粘土的颗粒越小，分散度越大，其粘结能力和可塑性越强</td></tr>
<tr><td>被水润湿的特性</td><td>粘土只有被水润湿后，其粘结能力才能显示出来。粘土最大的粘结能力和可塑性只有最适合的含水量时才能达到</td></tr>
<tr><td>湿、干强度的建立</td><td>粘土晶粒呈鳞片状，被水润湿后，能解离成分散度很高的片状质点，其中小于 0.010mm(1μm)的质点形成了胶体溶液，包在砂粒周围将砂粒结合，使型砂获得湿强度，烘干时水分蒸发，胶体质点与砂粒紧密结合在一起，使型砂获得干强度</td></tr>
</table>

2. 粘土的种类

按矿物组成不同，粘土分为两类：铸造用粘土和铸造用膨润土。其特性见表 4-15。

表 4-15　粘土的特性

序号	特性 \ 种类	铸造用粘土	铸造用膨润土
1	主要矿物	高岭石	蒙脱石
2	主要成分	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \cdot nH_2O$
3	晶体结构	二层型(一层是 Si-O 四面体,另一层是 Al-O(OH)八面体,构成一个晶体单元。相邻单位晶层之间由氧面与氢氧面呈氢键连接)	三层型
4	颗粒大小	较细,直径 0.003 ~ 0.004mm	极细,直径 0.0002 ~ 0.002mm
5	比表面/(m^3/g)	50 ~ 100	250 ~ 500
6	吸水体积膨胀	小	大
7	加热体积收缩	小	大
8	粘结能力	小	大(比普通粘土大 2 ~ 3 倍)
9	湿强度	低	高
10	干强度	高	低
11	吸水量	小	大
12	熔化温度/℃	1650 ~ 1775	1200 ~ 1300
13	别名	别名称白泥、甘子土、瓷土、高岭土等。白泥呈白色或灰白色,其中耐火度高的称耐火粘土(或生火泥),成分较纯的称高岭土(或瓷土);紫泥是一种含氧化铁较多的普通粘土。统称普通粘土或铸造用粘土	别名称陶土,呈白色粉状或呈灰色、浅蓝色、微粉红色、绿色。颗粒极细,被水润湿后其体积要膨胀数倍至十几倍,故得名膨润土。统称铸造用膨润土

3. 粘土的选用（见表 4-16）

表 4-16　粘土的选用

序号	粘土分类	选　用
1	铸造用粘土	1）常单独用于干型的粘结剂 2）可与膨润土混合,用于干型 3）铸钢用粘土在 1100℃时强度最高,型砂容让性、溃散性不好
2	铸造用膨润土	1）主要用于粘土砂湿型、表干型的粘结剂 2）铸造生产中常用钙膨润土、钙钠膨润土。厚大铸件、流水线生产的铸件以及易夹砂的铸件,选用钠膨润土、钠钙膨润土。但混碾时间略长于钙膨润土 3）高压造型、射压造型采用钠膨润土

4. 膨润土的人工钠化处理

钠基膨润土与钙基膨润土的工艺性能比较见表4-17。

膨润土的人工钠化处理（又称钠化处理或活化处理）见表4-18。

表4-17　钠基膨润土与钙基膨润土的工艺性能比较

序号	性　　能	钠基膨润土	钙基膨润土	序号	性　　能	钠基膨润土	钙基膨润土
1	吸水膨胀、胶体分散性	大	中等	6	热湿拉强度	高	较低
2	混砂时强度增加率	中等	快	7	抗膨胀缺陷能力	好	较低
3	型砂流动性	中等	好	8	回用性	好	较差
4	型砂韧性	好	中等	9	落砂性	较差	好
5	湿压强度	高或稍低	高	—	—	—	—

表4-18　膨润土的人工钠化处理

为什么要进行人工钠化	天然膨润土分为钙质膨润土和钠质膨润土两大类。其中，钙质膨润土资源丰富，便宜；而钠基膨润土粘结力强，具有抗夹砂能力，但资源较少，较贵 湿型铸造工艺时，常要求型砂具有较高的抗夹砂能力和较高的复用性能，希望使用钠基膨润土或含有一定数量钠离子的钠钙基膨润土。为了满足工艺对钠基膨润土的需要，充分利用资源，提高钙质膨润土的性能，可用碳酸钠（即苏打，Na_2CO_3）对钙基膨润土进行处理（人工钠化），使钙基膨润土转变为钠基膨润土，或含有一定数量钠离子的钠钙基膨润土
人工钠化化学反应机理	在水介质中 Ca^{2+}蒙脱石 + Na_2CO_3 ⟶ $2Na^+$蒙脱石 + $CaCO_3$
钠化工艺	活化膨润土时的碳酸钠加入量，通常为膨润土重量的3% ~5%。膨润土的钠化反应能否充分进行的关键在于钠化的工艺。较好的钠化工艺有湿法和干法两种： 1）湿法工艺——是将膨润土和水配成泥浆后加入碳酸钠，经强力搅拌而成。这种方法适用于配制铸型涂料 如果用于湿型砂，须经过脱水、干燥、破碎、磨粉等复杂工艺，此工艺只有在膨润土加工厂进行 2）干法工艺——是由膨润土加工厂将开采出的膨润土破碎成小颗粒，与碳酸钠混合成具有一定湿度的混合料。有时还要添加少量增效助剂，加入挤压机（如轮碾机、双螺旋挤压机、对辊挤压机等）中反复挤压，然后存放数日老化，从而完成钠化反应过程，再经低温烘干、破碎制粉，即可得钠化膨润土产品

5. 粘土的技术标准

（1）铸造用粘土的技术标准

1）铸造用粘土分级。按耐火度不同分为两级，按工艺试样湿压强度值分为三级，按工艺试样干压强度值分为三级，见表4-19。

表 4-19　铸造用粘土分级（JB/T 9227—1999）

按耐火度分级			按湿压强度分级		按干压强度分级	
等级	等级代号	耐火度/℃	等级代号	湿压强度/kPa	等级代号	干压强度/kPa
耐火度高	G	>1580	5	>50	50	>500
			3	>30～50	30	>300～500
耐火度低	D	1350～1580	2	20～30	20	200～300

注：混合料配制：标准砂 2kg，粘土 200g，加水量按紧实率 45% 控制，干混 2min，湿混 8min。试样在 (180±5)℃保温 1h，在干燥器中冷却至室温，进行测定。

2）铸造用粘土牌号的表示方法见表 4-20。

表 4-20　铸造用粘土牌号的表示方法（JB/T 9227—1999）

规则	N——铸造用粘土代号 铸造粘土牌号用耐火度等级、湿压强度值等级和干压强度等级表示
案例	耐火度高的，湿压强度值为 30～50kPa，干压强度值大于 500kPa 的铸造粘土，其牌号为 N　G-3-50 50——干压强度等级代号 3——湿压强度等级代号 G——耐火度等级代号 N——铸造用粘土代号

3）铸造用粘土的技术指标。各种牌号的铸造用粘土中，w（水）<10%；质量分数 95% 以上应通过铸造用试验筛 140 筛号。

（2）铸造用膨润土的技术标准

1）铸造用膨润土按其主要交换性阳离子分四类，按 pH 值分两类，见表 4-21。

表 4-21　铸造膨润土的分类（JB/T 9227—1999）

分　类	代　号	按主要交换性阳离子分类说明
钠膨润土	PNa	钠离子为主要交换性阳离子，占阳离子交换容量的质量分数 50%，或 50% 以上
钙膨润土	PCa	钙离子为主要交换性阳离子，且占阳离子交换容量的质量分数 50%，或 50% 以上
钠-钙膨润土	PNaCa	钠离子和钙离子为主要交换性阳离子，均占阳离子交换容量的质量分数 50% 以下，且钠离子含量多于钙离子
钠-钙膨润土	PNaCa	钠离子和钙离子为主要交换性阳离子，均占阳离子交换容量的质量分数 50% 以下，只是 Ca 离子多于 Na 离子
酸性	S	按膨润土的 pH 值不同分类
碱性	J	

2）按工艺试样湿压强度值分四级，按工艺试样热湿拉强度值分四级，见表4-22。

表 4-22　铸造用膨润土分级（JB/T 9227—1999）

<table>
<tr><th colspan="2">按湿压强度值分级</th><th colspan="2">按热湿拉强度值分级</th></tr>
<tr><th>等级代号</th><th>湿压强度/kPa</th><th>等级代号</th><th>热湿拉强度/kPa</th></tr>
<tr><td>10</td><td>>100</td><td>25</td><td>>2.5</td></tr>
<tr><td>7</td><td>>70～100</td><td>20</td><td>>2～2.5</td></tr>
<tr><td>5</td><td>>50～70</td><td>15</td><td>>1.5～2</td></tr>
<tr><td>3</td><td>≥30～50</td><td>5</td><td>0.5～1.5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">混合料配制</td><td>配比</td><td colspan="2">标准砂2000g，膨润土100g，水40mL</td></tr>
<tr><td>混制工艺</td><td colspan="2">干混2min，加水后，再混8min，测定紧实率</td></tr>
<tr><td>检验</td><td colspan="2">1）紧实率小于43%时，可按每毫升水提高紧实率1.5%估算加少量水，湿混2min，再检查紧实率
2）若紧实率大于47%，将试料过筛1～2次，再检查紧实率
3）紧实率在43%～47%范围内即可</td></tr>
</table>

3）铸造用膨润土牌号的表示方法见表4-23。

表 4-23　铸造用膨润土牌号的表示方法（JB/T 9227—1999）

规　则	铸造用膨润土的牌号，按分类、湿压强度值分级代号、热湿拉强度值分级代号的顺序排列表示
示例	湿压强度值30～50kPa，热湿拉强度值0.5～1.5kPa的酸性钙膨润土，其牌号为 PCa S-3-5 5——热湿拉强度值为0.5～1.5kPa 3——湿压强度等级代号，湿压强度值为30～50kPa S——酸性 PCa——钙膨润土

4）铸造用膨润土的技术指标：

①各牌号的铸造用膨润土，其吸附亚甲基兰量每100g土至少应在20g以上。

②水的质量分数应不大于12.0%，冬季允许不大于15%。

③其重量的95%以上应通过200号（筛孔尺寸0.075mm）铸造试验筛。

4.2.2　辅助材料

1. 辅助粘结剂（见表4-24）

表 4-24　辅助粘结剂的名称、主要品种、硬化方法、适用范围

序号	粘结剂名称	主要产品	硬化方法	适用范围
1	水泥	硅酸盐水泥、矾土水泥	自硬	铸钢、铸铁、非铁合金型（芯）粘结剂

（续）

序号	粘结剂名称	主要产品	硬化方法	适用范围
2	磷酸盐	镁铝磷酸盐、铝铬磷酸盐、镁铝硼磷酸盐、磷酸铝	自硬、气硬、热硬	灰铸铁、球墨铸铁、铸钢件
3	聚乙烯醇(PVA)	PVA17-88	自硬、气硬、热硬	型、芯、涂料的粘结剂
4	JD复交粘结剂	JD-1型(聚丙烯酸铵、聚丙烯酰胺)、JD-2型	加热	各种合金的砂芯粘结剂。可部分取代桐油合脂
5	聚丙烯酸钠		气硬	各种合金的型砂粘结剂
6	淀粉	天然淀粉(β淀粉)、α淀粉	加热	油砂、湿型砂的辅助粘结剂
7	糊精	黄糊精、白糊精	加热(170℃)	辅助粘结剂
8	纸浆	亚硫酸盐纸浆废液	加热(170℃)	辅助粘结剂;涂料的悬浮剂和粘结剂
9	羧甲基纤维素	羧甲基纤维素钠(CMC)	加热	辅助粘结剂,涂料粘结剂和悬浮剂
10	糖浆	淀粉糖浆、甘蔗糖浆	加热(200℃)	辅助粘结剂(与油类粘结剂配合用;铸钢涂料粘结剂)
11	海藻酸钠	海藻残渣胶	加热(<180℃)	辅助粘结剂(可取代糊精、纸浆废液、部分膨润土)
12	木质磺酸钙	木质磺酸钙	加热	辅助粘结剂
13	田箐胶	田箐胶	加热	桐油砂的辅助粘结剂
14	松香	脂松香、木松香	加热	醇基涂料的粘结剂
15	聚乙烯醇缩丁醛	聚乙烯醇缩丁醛(PVB)	加热	醇基涂料的粘结剂;与热固性酚醛树脂配合使用提高涂料的粘结强度

2. 粘土砂的辅助材料（见表4-25）

表4-25 砂型铸造常用辅助材料名称、主要技术指标和用途

序号	名称	主要技术指标	用途
1	煤粉(JB/T9222—2008)	挥发分(质量分数,%)>25 灰分(质量分数,%)<10 硫分(质量分数,%)<2 水分(质量分数,%)<4 粒度(通过140筛号的质量分数,%)>95 外观:黑色或黑褐色细粉	抗粘砂材料。煤粉主要用于粘土湿型砂,以防止产生粘砂和夹砂,从而获得表面光洁的铸铁件。同时也起提高型砂溃散性的作用
2	淀粉(α淀粉、糊精、糖浆、氢化淀粉水解液(山梨醇)等)	外观为白色或灰白色的颗粒或粉状材料,作为添加剂,可提高油砂湿强度而不降低干强度;提高湿型砂韧性;提高水玻璃砂溃散性	山梨醇能与水玻璃形成互溶体,具有较高粘结能力,可减少水玻璃砂中水玻璃加入量,使水玻璃砂具有较好的工艺强度和溃散性

（续）

序号	名　　称	主要技术指标	用　　途
3	重油和渣油（SH/T0356—1996）	恩氏粘度 11～15.5 凝点≤20～25℃ 机械杂质（质量分数，%）≤2～2.5 含水量（质量分数，%）≤1.5～2.0 外观：深褐色或黑色油状液体	抗粘砂材料。重油一般用于铸铁湿型砂的附加物，防止铸件产生粘砂 渣油还可以作砂芯的粘结剂
4	石墨粉：鳞片石墨（GB/T3518—2008）	固定碳（质量分数，%）≥50～87 水分（质量分数，%）≤0.3～2.0 外观：黑色鳞片状，有金属光泽	抗粘砂材料。多用中碳石墨。石墨粉用于铸铁件干型和砂芯的涂料、敷料或用于石墨铸型。在湿型中也可代替煤粉
	石墨粉：无定形（土状）石墨（GB/T3519—2008）	固定碳（质量分数，%）≥55～90 挥发物（质量分数，%）≤3～4.5 水分（质量分数，%）≤2 外观：黑色粉状	
5	氧化铁粉（GB/T1863—2008）	含铁量（质量分数，%）≥96 水分（质量分数，%）≤2 粒度（通过 200 号筛的质量分数，%）>90 外观：红色粉末	抗粘砂材料。在热芯盒树脂砂中加入一定量，以防止铸件粘砂和气孔 作小型铸钢件型砂附加物，防止铸件夹砂、粘砂、脉纹
6	滑石粉（GB15342—1994）	Fe_2O_3（质量分数，%）≤0.2～1.0 水分（质量分数，%）≤0.5～1.0 酸不溶物（质量分数，%）≤85～90 粒度（通过 200 号筛的质量分数，%）>98 外观：白色细粉	用于非铁合金和小型铸铁件型（芯）砂涂料 滑石粉＋亚麻油烘干粉碎后作手工制芯脱模剂
7	脱模剂	1）紫胶漆：用于涂刷粘土砂、合脂砂、油砂用的木模和芯盒 2）硝基外用磁漆：适用于碱性强的水泥砂、水玻璃砂的模样和芯盒 3）过氯乙烯外用磁漆：适用作呋喃自硬树脂砂模样和芯盒的涂漆 4）聚氨酯漆：适用于各种树脂砂模样和芯盒涂漆 5）石松子粉：是造型制芯理想的分型剂 6）氧化铝粉脱模剂：适用于手工制芯脱模 7）重质碳酸钙粉脱模剂：用油处理后可代替石松子粉作脱模剂 8）F-9501 型木模分型剂：涂刷在木膜表面防止粘膜 9）损耗系统用油和煤油：喷涂在模型表面利于脱模 10）甲基硅油及其乳液：具有耐热、耐水性，脱模性能优良	

（续）

序号	名　　称	主要技术指标	用　　途
8	有机溶剂	有机溶剂主要用来溶解和稀释有机粘结剂。常用有机溶剂有:溶剂油、煤油、酒精、甲醇和异丙醇 1）溶剂油:作溶剂(如配制快干涂料)和油类(如合脂、渣油等)粘结剂的稀释剂 2）煤油:用作脱模剂、合脂和渣油等粘结剂的稀释剂 3）酒精(乙醇):用作醇基涂料的溶剂和熔模铸造用硅酸乙酯水解液的溶剂 4）甲醇:价格低于乙醇。在醇基涂料中少量加入以代替部分乙醇,可加快涂料层的自然干燥速度,如实型铸造涂于泡沫塑料模上的醇基涂料不可点燃,只有加入易挥发的甲醇,加快干燥 5）异丙醇:用于改善醇基涂料的燃烧性。如树脂砂醇基涂料中可加入少量的异丙醇,以缓和燃烧特性	

4.2.3 湿型砂

湿型砂是以膨润土作粘结剂的一种不经烘干的型砂。为了充分发挥湿型砂的优势，提高铸件质量，生产中必须保持型砂性能稳定、砂型紧实度均匀及铸造工艺合理。

湿型砂按使用条件分类见表4-26。各种造型方法湿型砂的性能控制指标见表4-27。

表4-26　湿型砂按使用条件分类

分类	特点与要求	应　　用
面砂	面砂直接与高温金属液接触,应具有较好的性能。因此常加入较多的新材料,混砂时间也较长	湿型砂用于生产中小型铸件。特别用于大批量机械化造型,如汽车、拖拉机、柴油机、轻纺机械等铸铁件 采用湿型也可生产重达几百千克的铸铁件
背砂	主要起填充加固作用。强度次于面砂,为面砂强度70%～75%。但透气性宜较高,以利排气 混砂时间较短,一般由旧砂加水混制,必要时添加少量粘土	
单一砂	通常用于机器造型。以简化供砂系统和提高生产率 其性能介于面砂和背砂性能之间	

表4-27　各种造型方法湿型砂的性能控制指标

造型方法	湿型砂的性能控制指标						
	水分（质量分数,%）	湿压强度/kPa	透气性			紧实率（%）	破碎指数（%）
			面砂	背砂	单一砂		
手工造型	5.0～6.0	80～150	40～100	100～200	100～120	45～55	—
普通机器造型(压实、震击)	4.5～5.5	60～150				40～50	65～75

（续）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="3">造型方法</th><th colspan="7">湿型砂的性能控制指标</th></tr>
<tr><th rowspan="2">水分
（质量分数，%）</th><th rowspan="2">湿压强度
/kPa</th><th colspan="3">透气性</th><th rowspan="2">紧实率
（%）</th><th rowspan="2">破碎指数
（%）</th></tr>
<tr><th>面砂</th><th>背砂</th><th>单一砂</th></tr>
<tr><td rowspan="3">高密度造型</td><td>高压造型</td><td rowspan="3">3.2～4.5</td><td rowspan="3">120～180</td><td rowspan="3">40～100</td><td rowspan="3">100～200</td><td rowspan="3">100～120</td><td>40～45</td><td>68</td></tr>
<tr><td>气冲造型</td><td>35～40</td><td>—</td></tr>
<tr><td>射压造型</td><td>36～44</td><td>—</td></tr>
</table>

1. 铸铁湿型（芯）砂

（1）手工造型（芯）用湿型砂的配方（见表4-28、表4-29）

表4-28　铸铁件手工造型用湿型砂的配方和性能

<table>
<tr><th colspan="7">配比（质量比）</th><th colspan="4">性　　能</th><th rowspan="3">应　　用</th></tr>
<tr><th rowspan="2">旧砂</th><th colspan="2">新砂</th><th rowspan="2">膨润土
（粘土）</th><th rowspan="2">碳酸钠
（占膨润土）</th><th rowspan="2">煤粉</th><th rowspan="2">其他</th><th rowspan="2">w（水）
（%）</th><th rowspan="2">透气性></th><th rowspan="2">湿压强度/kPa</th><th rowspan="2">w（泥）
（%）</th></tr>
<tr><th>粒度筛号</th><th>加入量</th></tr>
<tr><td>60</td><td>30/50</td><td>40</td><td>7～8
（2～3）</td><td>4</td><td>—</td><td>木屑
0.5～1</td><td>6.5～7.5</td><td>150</td><td>70～90</td><td>10～15</td><td>灰铸铁大件</td></tr>
<tr><td>50～60</td><td></td><td>40～50</td><td>4～5</td><td>3～4</td><td>4～5</td><td>重油
1～1.5</td><td>5.5～6.5</td><td>80</td><td>70～90</td><td>—</td><td>面砂，球墨铸铁、灰铸铁中小件</td></tr>
<tr><td>80～90</td><td></td><td>10～20</td><td>2～3</td><td>3～4</td><td>2～3</td><td>重油
0～1</td><td>5.5～6.5</td><td>100</td><td>80～110</td><td>—</td><td>单一砂，球墨铸铁、灰铸铁中小件</td></tr>
<tr><td>90～100</td><td></td><td>0～10</td><td>0～1.5</td><td>—</td><td>0～1</td><td>—</td><td>5.5～7.0</td><td>100</td><td>60～80</td><td>—</td><td>背砂，灰铸铁中小件</td></tr>
</table>

表4-29　铸铁件手工制芯用芯砂的典型配方

<table>
<tr><th colspan="8">配方（质量分数，%）</th><th colspan="4">性　　能</th><th rowspan="2">应　　用</th></tr>
<tr><th>新砂
（50/100）</th><th>桐油或亚麻油</th><th>米糠油</th><th>合脂</th><th>膨润土</th><th>糊精</th><th>纸浆废液</th><th>水</th><th>w（水）
（%）</th><th>透气性></th><th>湿压强度/MPa</th><th>干拉强度/MPa</th></tr>
<tr><td>100</td><td>2～2.5</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>1～1.5</td><td>—</td><td rowspan="4">适量</td><td>2～2.5</td><td rowspan="4">100</td><td>0.015～0.02</td><td>1.6～2</td><td>形状复杂型芯</td></tr>
<tr><td>100</td><td>—</td><td>2～2.5</td><td>—</td><td>1.5～2</td><td>1～1.5</td><td>—</td><td rowspan="3">2.5～3.5</td><td rowspan="2">0.02～0.025</td><td rowspan="2">1.2～1.6</td><td>中等形状型芯</td></tr>
<tr><td>100</td><td>—</td><td>—</td><td>4～4.5</td><td>1.5～2</td><td>1～1.5</td><td>—</td><td>一般形状型芯</td></tr>
<tr><td>100</td><td>—</td><td>2～2.5</td><td>—</td><td>3～4</td><td>—</td><td>2～2.5</td><td>0.025～0.035</td><td>0.8～1.2</td><td>湿强度要求高的型芯</td></tr>
</table>

（2）铸铁普通机器造型用粘土湿型砂 普通机器造型一般指压实造型和震击造型，属于中、低压造型。其湿型砂的配方见表4-30。

表4-30 铸铁普通机器造型用湿型砂的配方

配比（质量比）							性能					应用
旧砂	新砂		膨润土	煤粉	碳酸钠（占膨润土）	其他	w（水）（%）	紧实度（%）	透气性	湿压强度/kPa	热湿拉强度/kPa	
	粒度筛号	加入量										
93.8		4.4	1.1	1.74	—	—	4~4.8	—	>70	65~90	—	震击造型，单一砂，灰铸铁中小件
95	70/140	5	1~3	1~1.5	干粉4~5	—	3~4	38~40	>90	100~130	—	震击造型，单一砂，灰铸铁中小件
90	70/140	10	2~4	3~5	干粉4~5	—	4.5~5.2	~45	>90	90~120	—	震击造型，球墨铸铁曲轴
50	50/100	50	3	4~6	干粉4	渣油液1	4.8~5.8	45~58	25~55	>90	2~3.2	震击造型，面砂，灰铸铁缸体、缸盖、后桥
50	50/100	50	5~6	8~10	适量	渣油液1.5	4.8~5.0	40~55	>90	90~150	>1.7	震击造型，面砂，灰铸铁缸体
50	70/140	50	4~4.5	5~6.5	4	渣油液1.2~1.4	5~6	—	69~90	80~100	2~2.5	震击造型，面砂灰铸铁缸体
50	70/140	50	4~4.5	5~6.5	4	柴油0.5~1	5~6	—	90~130	80~100	2~2.5	震击造型，面砂灰铸铁飞轮
72	70/140	28	4	3~4	干粉5	—	4.5~6.0	—	>80	80~120	—	震击造型，单一砂，灰铸铁小件
80	50/100	20	1	—	—	—	3.8~4.4	—	>80	56	—	震击造型，背砂灰铸铁缸体

（3）铸铁高密度造型用湿型砂 高密度造型主要是指高压造型、射压造型、气流冲击造型。高密度湿砂型铸造是一种高效的近无余量的生产工艺。粘土湿型砂符合绿色铸造的要求。高密度造型用型砂特点是粘土含量高、水分低、煤粉加入量低、强度高、流动性好。

1）铸铁件高压造型用单一砂湿型砂的配方见表4-31。

表 4-31 铸铁件高压造型用单一砂湿型砂的配方

配比（质量比）							性 能								应 用
旧砂	新砂		膨润土	煤粉	碳酸钠（占膨润土）	其他	w（水）（%）	紧实度（%）	透气性	湿压强度 /kPa	热湿拉强度 /kPa	w（泥）（%）	有效煤粉（%）	有效膨润土（%）	
	粒度	加入量													
96	70/140	4	1.32	1.24	水液 3～4	—	3.6～4.4	32～46	>100	130～170	—	10～15	6～8	7～9	灰铸铁缸体、缸盖
96	70/140	4	1.35～1.8	0.75～1.1	水液 3	—	3.8～4.3	34～42	>100	120～150	—	<15	4～6	6～8	灰铸铁进气管
96	70/140	4	1.35～1.8	0.75～1.1	水液 3	—	3.6～4	32～40	>100	120～150	—	<15	4～6	7.5～9	球墨铸铁曲轴
96	70/140	4	1.35～1.8	0.75～1.1	水液 3	—	3.5～4	32～42	>100	120～150	—	<14	4～6	7～9	蠕墨铸铁排气管、变速箱
92.5	50/100	3	1	0.8	水液 3	—	5～6	35～45	>120	110～140	—	10～13.5	—	8～9	球墨铸铁后桥
95.2	50/100	3	1	1.8	水液 3	—	5～6	40～50	≥100	110～140	—	<14.5	2.5～4	7～10	随形高压造型，球铁后桥、底盘
93.8		4.4	1.1	1.74	—	—	4～4.7	—	≥70	75～100	—	—	—	—	可锻铸铁件
88.1		7.9	2.5	1.6	—	—	3.8～4.6	—	>70	100～120	—	—	—	—	灰铸铁缸体
90	70/140	10	2	2	干粉 5	—	4.3～5.3	—	>70	>90	—	<14	—	—	灰铸铁缸体
100			2～3	3～4	干粉 3.5	—	3.5～4.3	35～43	80～120	160～200	—	—	湿拉 18kPa	破碎指数 75～85	灰铸铁缸体、缸盖
93～95	70/140	5～7	0.8～1.2	0.3～0.5	干粉 5	—	3.2～3.8	35～40	120～180	120～150	>2	>16	—	—	灰铸铁缸体、缸盖

注：表中配方分别为“东风汽车公司”、“中国第一汽车公司”、“泰克西铸铁” 等高压造型型砂的配方实例。

2）铸铁件射压造型单一砂湿型砂的配方见表4-32。

表4-32　射压造型单一砂湿型砂的配方

配方（质量比）						性　能							应　用
旧砂	新砂		膨润土	煤粉	碳酸钠（占膨润土）	w（水）（%）	紧实率	透气性	湿压强度/kPa	w（泥）（%）	有效煤粉（%）	有效膨润土（%）	
	粒度	加入量											
96	70/140	4	1.35～1.8	0.75～1.1	水液3	3.5～4.4	36～44	＞100	120～150	＜14	4～6	7～9	灰铸铁小件
93～95	50/100	3～5	1～1.5	0.3～0.5	水液3	4.6～5.3	34～45	＞100	120～150	—	—		球墨铸铁、可锻铸铁小件

注：表中为“东风汽车公司”射压造型单一砂配方实例。

3）铸铁件气冲造型用型砂的配方见表4-33。

表4-33　气冲造型用型砂的配方

配方（质量比）						性　能							应　用
旧砂	新砂		膨润土	煤粉	碳酸钠（占膨润土）	w（水）（%）	紧实率（%）	透气性	湿压强度/kPa	w（泥）（%）	有效煤粉（%）	有效膨润土（%）	
	粒度	加入量											
95	50/100	5	1～2	0.3～0.7	水液3	3.8～4.6	37～43	≥100	130～160	＜15	3～5	8～10	球墨铸铁后桥、底盘、支架

2. 铸钢湿型砂

（1）铸钢件高压造型湿型砂的配比及性能（见表4-34）

表4-34　铸钢件高压造型湿型砂的配比及性能

分　类	配比（质量比）					性　能			
	旧砂	新砂	膨润土	糊精	α淀粉	含水量（质量分数，%）	透气性	湿压强度/kPa	紧实率（%）
高压造型面砂	—	100	7	0.6	0.8	3.2～3.5	230～250	＞50	55
高压造型背砂	100	—	0.2	—	0.8	2.8	＞150	＞40	45

（2）铸钢件普通机器造型湿型砂的配比及性能（见表4-35）

表4-35　铸钢件普通机器造型湿型砂的配比及性能

分　类	配方（质量比）							性　能		
	旧砂	新砂		膨润土	碳酸钠	纸浆废液	重油	含水量（质量分数，%）	透气性	湿压强度/kPa
		粒度（筛号）	加入量							
机器造型面砂	—	—	100	11～14	0.2～0.4	0.6～1.2	2	4.8～5.8	＞80	55～70
机器造型单一砂	50	70/140	50	3	0.4	—	—	4～4.7	≥100	≥50

（3）铸钢件手工造型湿型砂的配比及性能（见表 4-36）

表 4-36　铸钢件手工造型湿型砂的配比及性能

分　类	配比(质量比)						性　能		
	新砂		膨润土	碳酸钠	糊精	煤粉	含水量(质量分数,%)	透气性	湿压强度/kPa
	粒度(筛号)	加入量							
小型铸钢件	100/200	100	9 ~ 11	0. 2	0. 2 ~ 0. 4	—	3. 8 ~ 4. 3	100 ~ 200	56 ~ 77
< 100kg 碳钢件	70/140	100	7. 5	—	—	—	3. 5 ~ 4. 0	> 100	50 ~ 75
< 100kg 耐热钢件	70/140	100	4. 5	—	—	2 ~ 4	3 ~ 4	> 80	50 ~ 70

3. 非铁合金铸件湿型砂的配比及性能

（1）铜、铝合金铸件湿型砂的配比及性能（见表 4-37）

表 4-37　铜、铝合金铸件湿型砂的配比及性能

分　类	配比(质量比)							性　能		
	旧砂	新砂		红砂	粘土	膨润土	含泥量(质量分数,%)	含水量(质量分数,%)	透气性	湿压强度/kPa
		粒度	加入量							
铜合金铸件	70 ~ 90	70/140	10 ~ 30	—	8 ~ 12	—	重油 1 ~ 1. 5	4. 5 ~ 5. 5	≥30	30 ~ 60
	30	100/200	47	18	—	5	9 ~ 14	4 ~ 5	≥40	80 ~ 100
铜合金铸件 铝合金铸件	70 ~ 85	100/200	10 ~ 20	5 ~ 10	—	2 ~ 3	< 12	4 ~ 5	≥40	> 50
铝合金铸件	80 ~ 85	70/140	15 ~ 20	5	—	0. 5	—	6. 5 ~ 7. 5	100 ~ 200	50
	75	70/140 100/200	15 5	50		—	—	3. 8 ~ 4	> 100	120
	—	70/140 100/200	33 17	—	—			3. 5 ~ 5	60 ~ 100	100 ~ 130

（2）镁合金铸件湿型砂的配比及性能（见表 4-38）

表 4-38　镁合金铸件湿型砂的配比及性能

序号	配比(质量比)						性　能		
	旧砂	新砂		粘土	氟化物	硫磺	含水量	透气性	湿压强度/kPa
		粒度	加入量						
1	—	50 ~ 100 或 100/200	100	—	6 ~ 8	—	适量	≥40	> 40
2	85 ~ 90		10 ~ 15	0 ~ 1. 5	1 ~ 3	0 ~ 3	适量	≥35	> 50
3	90 ~ 95		5 ~ 10	0 ~ 1. 5	0. 35 ~ 0. 5	尿素防腐剂 0. 59 ~ 0. 98	适量	≥35	> 50

4. 湿型砂可能产生的缺陷及解决方案（见表 4-39）

表 4-39　湿型砂可能产生的缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	产 生 原 因	解 决 方 案
1	胀砂	胀砂大多出现于湿型浇注的铸件，主要是由于砂型紧实不够或不均匀，因而在金属液体压力的作用下，型壁外移、铸件胀大	在保证合适的含水量和足够强度的前提下，正确控制砂型硬度，保持砂型紧实均匀，可以防止胀砂
2	夹砂	夹砂大多见于湿型浇注的铸件，主要是由于砂型表层受热膨胀；同时由于砂型表面水分汽化、迁移、凝聚形成了低强度的高水区，削弱了砂型表层与本体的连接，于是表层砂壳翘起，金属液体渗入，在铸件表面形成了夹砂或鼠尾等缺陷	除了浇注工艺方面的措施，防止夹砂的措施主要有：①严格控制膨润土质量和型砂的含水量，保证足够的热湿拉强度；②合理控制有机材料的质量和加入量，合理选用原砂等；③任何可以提高砂型表层与本体的连接强度及任何可以降低砂型表层热膨胀的措施，都有利于防止夹砂的产生
3	粘砂	粘砂有由于金属液体渗透所造成的机械粘砂，以及由于金属液体表面氧化并与砂型表面产生热、化学作用而引起的热、化学粘砂	防止粘砂主要可以采取以下措施： 1）采用较细的原砂，提高型砂的流动性及砂型的紧实度，以减小砂型表面的孔隙 2）适量加入抗粘砂附加物，使砂粒表面及砂粒间形成碳膜或烧结壳，以减少金属液体表面的氧化及对砂型表面的润湿和渗透 3）在砂型表面喷、涂耐火度较高，不易被金属液体润湿，且不易与金属液体表面氧化物产生化学反应的涂料，以减少金属液体对砂型表面的熔蚀和渗透
4	砂眼	砂眼主要是由于浇道或型内掉有砂粒或由于金属液体冲刷型壁、砂粒掉落而引起	防止砂眼除了要注意造型和合箱操作，以及尽量减少金属液体对砂型的过分冲刷外，主要应合理控制型砂的水分，提高型砂的韧性和强度
5	气孔	金属液在凝固过程中，陷入金属中的气泡在铸件中形成的孔洞，称之为气孔 气孔属于孔壁光滑的孔洞类铸件缺陷。其形成原因也非常复杂。或是因为砂型中的水分含量过高，或是型腔的排气性不好，砂芯之间通气不畅，或炉料没有烘干等都易造成气孔缺陷。根据气孔形成的机理分为侵入气孔、裹携气孔、析出气孔、内生式反应气孔和外生式反应气孔。侵入气孔是从浇注到铸件表面凝固成固体壳的期间内，外部气体源（砂型，砂芯等）发生的气体侵入型腔内的金属液中	可以采取以下一些措施防止产生气孔： 1）型砂含水量不要过高，发气物质的加水量不要过多 2）砂型硬度不要过高，上型的紧实度可比下型略低 3）适当提高型砂的透气性 4）型砂中加入少量可减少金属液体氧化的保护剂

（续）

序号	缺陷名称	产 生 原 因	解 决 方 案
6	裂纹	铸件产生裂纹缺陷的原因很复杂，有铸件材质的问题，也有铸造工艺及造型材料的问题	各种能够减少砂型（芯）膨胀，提高型（芯）砂退让性的措施，例如：在型砂中加入木屑或有机粘结剂；采用粒度较分散的原砂等
7	缩孔、缩松和缩陷	由于金属液在凝固过程中补缩不够，导致铸件内部产生缩孔类缺陷。这类缺陷减小了铸件的有效承载面积，承载时在缺陷处应力集中，如果铸件工作时是承载零件则极易断裂失效，特别是不易检验出来的内缩孔、缩松更是危险的隐患，故它们都是导致铸件报废的缺陷。缩松会使高压容器铸件（气缸、液压缸等）液压或水压试验时发生渗漏，铸件机械加工后暴露出来的内缩孔、缩松破坏了加工表面质量	为了防止这些缺陷，通常采用的措施是正确设计冒口进行良好的补缩；设置外冷铁，加冷却肋，增加铸型的刚性等

4.2.4　干型砂

干型砂是以粘土和膨润土作粘结剂的一种烘干砂型用的型砂。干砂型主要用于浇注中、大型铸件。

因砂型需烘干（干燥层深度 >50mm），故干型砂具有以下特点：①湿强度可稍低，含水量可稍高，以达到较高的干强度；②干砂型主要靠涂料保证铸件表面质量，故对原砂化学成分和耐火度要求不高；③可采用水基涂料，故可采用较粗的原砂，以使型砂有较高的透气性，不易产生冲砂、粘砂、气孔等缺陷。缺点是：需要专门的烘干设备，生产工序复杂，周期长；溃散性差，落砂清理时粉尘大，劳动条件差；能源消耗多，因此，大的干砂型可用树脂自硬砂型代替。

干型砂的性能控制指标见表 4-40。

表 4-40　干型砂的性能控制指标

性　能	含水量（质量分数，%）	湿透气性	湿压强度/MPa	干强度/MPa		
				高（测定干拉强度）	中等（测定干剪强度）	较低（测定干压强度）
控制指标	6 ~ 8	>200	50 ~ 70	>0.1	>0.2	>0.3

1. 铸钢件干型砂的配方和性能（见表 4-41）

表 4-41　铸钢件干型砂的配方和性能

序号	配比（质量比）							性　能				使 用 范 围
	旧砂	新砂粒度（筛号）			粘土	膨润土	其他	w（水）（%）	湿透气性 ≥	湿压强度/kPa	干拉强度/MPa	
		12/30	20/40	40/70								
1	—	—	80	20	8	6	糊精 0.5	7 ~ 8	200	45 ~ 60	—	>100kg 碳钢件

（续）

序号	配比（质量比）							性能				使用范围
	旧砂	新砂粒度（筛号）			粘土	膨润土	其他	w（水）（%）	湿透气性≥	湿压强度/kPa	干拉强度/MPa	
		12/30	20/40	40/70								
2	30	53	—	—	9	—	纸浆废液2 木屑6	6～8	100	50～70	0.05～0.15	大齿轮芯砂
3	—	50/100 5	30	65	6	8	糖浆2	7～8	160	45～60	—	高锰钢、重要碳钢件
4	—	140筛 85	50/100 15	—	11～13	—	纸浆废液 2～3	6～7	550	45～55	0.15	大、中型铸钢件
5	—	30筛 60	140筛 40	—	10～14	—	纸浆废液 0.5～1.0	7～8	400	20～30	0.1	大、中型铸钢件面砂
6	50～60	—	140筛 40～50	—	6～8	—	—	6.5～7	300	25～35	—	大、中型铸钢件背砂
7	—	—	100	—	7～7.8	钠基 7～7.5	—	7.5～9	150	30～42	干剪 0.3	大型铸钢件型砂
8	—	140筛 75	—	50/100 25	11～13	—	纸浆废液 1.5～2	7～8	200	40～50	0.2	大、中型铸钢件
9	0～30	20/40～30/50 70～100			7	7	糖浆0.5	7.5～9	150	49～60	—	大、中型铸钢件
10	—	30	60	10	—	9	—	7～8	350	40～60	—	大型铸钢件
11	—	—	100	—	4	钠基 6～7	氧化铁粉 0.04～0.08 木屑（体积）15	10～11.5	80	28～40	干剪 0.18	大型铸钢件背砂

2. 铸铁件干型砂的配方和性能（见表4-42）

表4-42 铸铁件干型砂的配方和性能

序号	配比（质量比）							性能				使用范围
	旧砂	新砂粒度（筛号）			粘土	膨润土	其他	w（水）（%）	湿透气性	湿压强度/kPa	干剪强度/MPa	
		20/40	30/50	40/70								
1	30	20	50	—	8～10	—	—	7～8	>200	50～70	>0.15	大型铸件面砂
2	70	—	30	—	—	4～5	沥青乳浊液2	7～8	>100	50～70	>0.2	中型铸件面砂
3	70	—	30	—	4～5	2	—	7～8	>100	45～60	>0.15	中型铸件面砂
4	70	—	—	30	4～6	—	—	7～8	>100	45～60	>0.15	中、小铸件面砂

（续）

序号	配比（质量比）							性　能				使用范围
	旧砂	新砂粒度（筛号）			粘土	膨润土	其他	w（水）（%）	湿透气性	湿压强度/kPa	干剪强度/MPa	
		20/40	30/50	40/70								
5	20	15	40	—	10～12	—	焦炭粒	7.5～8.5	>200	50～70	>0.15	大型铸件芯砂
6	40	—	60	—	8～10	—	木屑（体积）15～20	7.5～8.5	>100	50～70	>0.15	中、大铸件芯砂
7	40	—	60	—	5～7	—	纸浆废液 2～3	7.5～8.5	>100	50～70	>0.2	中、小铸件芯砂
8	—	85	—	—	6	8	纸浆废液 3.5 焦炭粒 15 鳞片石墨 6	7.5～8.5	≥90	60～80	—	厚壁铸件芯砂
9	80	20	—	—	—	4～6	松香 1	8～10	>100	65～85	—	薄壁铸件芯砂
10	40	60	—	—	5	7	糖浆 1	6.5～7.5	≥400	67～87	—	钢锭模芯砂
11	—	100	—	—	4	12～14	糖浆 3	6.5～8.0	≥400	85～95	≥0.21	汽轮机气缸衬芯砂
12	55～52	—	—	—	15～20	—	焦炭渣粒 28～30	8～10	>80	60～90	>0.08	易产生夹砂处用面砂

3. 非铁合金铸件干型砂的配方和性能（见表 4-43）

表 4-43　非铁合金铸件干型砂的配方和性能

序号	配比（质量比）							性　能				使用范围
	旧砂	新砂		红砂	粘土	膨润土	其他	w（水）（%）	湿透气性	湿压强度/kPa	干拉强度/kPa	
		粒度组别	加入量									
1	60～80	15	20～35	—	10～15	—		5.5～7.5	≥30	40～60	80～120	铜合金铸件型砂
2	70	10	22	6.5	—	1.5		5.5～7	≥40	80～100	250～400	
3	30	10	47	18	—	5		5.5～7	>40	80～100	250～400	铜合金铸件芯砂
4	70～90	10	10～30	—	—	—	纸浆废液 0.5	5～7	≥30	30～50	80～120	铝合金铸件型砂

（续）

序号	配比(质量比)							性 能				使用范围
	旧砂	新砂		红砂	粘土	膨润土	其他	w(水)(%)	湿透气性	湿压强度/kPa	干拉强度/kPa	
		粒度组别	加入量									
5	55	15	20	25	—	—	—	5～7	—	—	—	铝合金铸件芯砂
6	—	10	40	60	—	—		5.5	—	—	—	
7	—	07	75	25	—	0.5	硫磺0.5 硼酸0.3	适量	—	—	—	镁合金铸件芯砂

4. 改善重、大型铸件干型砂性能的解决方案（见表4-44）

表4-44 改善重、大型铸件干型砂性能的解决方案

序号	预期目的	解决方案
1	提高透气性,防止气孔产生	选用粒度较粗的原砂,粒度(筛号):40/70、30/50、20/40
2	提高耐火度,防止粘砂	1）选用耐火度较高的硅砂和粘土 2）型腔表面刷水基耐火涂料
3	提高干强度、湿强度,防止冲砂、落砂、胀砂	1）增加粘土含量 2）加入纸浆残液、糖浆、沥青乳化剂等
4	提高退让性,防止裂纹	1）加入木屑(质量分数)0.5%～2% 2）加入焦炭粒(质量分数)10%～20% 3）加入沥青(质量分数)2%～5%
5	提高出砂性,减轻清理劳动强度	1）加入木屑 2）适当降低干强度

4.2.5 表干型砂

表干型砂（全名表面烘干型砂）主要用于浇注中、大型铸件，较大的能达十几吨重。

表干型砂的成分特点是：采用粗砂、活化膨润土，加入木屑。

铸铁件表干型砂的性能控制指标见表4-45。

表4-45 铸铁件表干型砂的性能控制指标

项目	湿透气性			湿压强度/kPa	热湿拉强度/kPa
	最低	一般件	复杂铸件		
控制指标	300	600～800	2000	50～100	>2.0

注：铸铁件表干型砂的原砂粒度较粗，一般用12/30、20/40、30/50筛号的石英-长石砂。粘结剂采用钠膨润土（5%～10%），或钙膨润土（另加占膨润土量4%的碳酸钠活化处理）。加木屑（0.5%～1.5%）。芯砂加入2%～3%的石油沥青乳浊液以提高干强度和溃散性。混砂时间一般>10min。

1. 铸铁件表面烘干型砂的配方和性能（见表 4-46）

表 4-46　铸铁件表面烘干型砂的配方和性能

序号	配比（质量比）							性能			应用范围
	新砂		旧砂	膨润土	碳酸钠	木屑	焦炭粒 < 4mm	w(水)(%)	湿透气性 >	湿压强度/kPa	
	粒度组成(筛号)	加入量									
1	30/50	70	30	8~10	0.4~0.5	2		6.5~7.5	400	90~110	小于 5t 铸件芯砂
2	30/50	70	30	6~8	0.3~0.4	—		6~7	300	80~100	小于 5t 铸件型砂、芯砂
3	30/50	20	80	4~6	0.2~0.3	1		6~7	300	90~110	小于 5t 铸件型砂、芯砂
4	20/40	70	30	8~10	0.4~0.5	2		6.5~7.5	400	90~110	5~10t 铸件芯砂
5	20/40	20	80	4~6	0.3~0.5	1		6.5~7.5	400	90~110	5~10t 铸件型砂
6	20/40	100		14~16	0.55~0.65	2		6.5~7.5	900	100~120	大于 10t 铸件，要求透气性好的芯砂
7	20/40	60	40	10~12	0.5~0.6	2	5	6.5~7.5	600	100~120	大于 10t 大件，要求耐火度高的芯砂
8	20/40	50	50	10~12	0.5~0.6	2		6.5~7.5	600	100~120	大于 10t 大件的型、芯砂

2. 大型铸铁件表面烘干型造型的工艺特点（见表 4-47）

表 4-47　大型铸铁件表面烘干型造型的工艺特点

关键工序	工艺和操作特点
模样	①要求光滑，以利起模；②高大模样，做成抽芯模最有利
紧实度	舂砂要匀、实，用砂型硬度计测量，其表面硬度大于 80~90
浇口	①采取开放式浇注系统；②内浇道应多而均布
出气	①多开出气孔；②上箱多扎通气孔
刷涂料	①修好型后，一般刷 2~3 遍涂料；②第一遍涂料应较厚，自然风干 24h；或用喷灯喷烘后，才可刷下一遍
表面烘干	①采用喷灯，或表面烘炉，进行低温短时间烘干；②干燥深度：小型铸件 > 15mm；中、大型件（5~10t）> 20~30mm；③烘干后及时浇注，间隔不宜过长

4.2.6　粘土砂混制工艺要点

混砂机有碾轮式混砂机（分间歇式和双盘连续式两种）、摆轮式混砂机、转子式混砂机三类。一般认为碾轮式混砂机混砂质量较好、设备结构简单、维修方便。粘土砂混制的工艺要点见表4-48。

表4-48　粘土砂混制的工艺要点

序号	工　序	工艺要点	
1	原材料准备	旧砂	应经磁选、过筛（筛孔尺寸10mm左右），冷却至室温，方可使用
		新砂	水分（质量分数）小于2%时可不烘干；大于2%时应经烘干，过筛（筛孔尺寸6mm左右）
		粘土	袋装粉状粘土可直接配入。散装的应经160～200℃烘干、粉碎、过筛（筛孔尺寸0.2～0.5mm）
2	混砂工艺	面砂	先干混后湿混。即旧砂+新砂+粘土+其他粉状材料干混（3～5min）+适量水湿混（4～6min），出碾（取样性能检验） 当全用新砂，或粘土量较多时，则适当延长湿混时间，取样检验型砂性能，如不合格，或适当延长混碾时间，或调整配砂成分
		背砂	旧砂回用，即旧砂加入混砂机中开机，同时加适量水，混碾2～3min出碾。或者就地铺开砂子，洒入适量水，用铁锹翻匀，后用筛孔尺寸为4～6mm的筛子过筛
3	调匀处理	将混好的型砂在不失去水分的条件下放置一段时间（湿型砂放置2～3h，干型砂大于5h）即为调匀处理。以使型砂中水分均匀渗透到粘土中，提高型砂湿强度和透气性	
4	松散处理	型砂使用前，用松砂机或筛孔尺寸为5～8mm的筛子过筛，使型砂松散，提高型砂可塑性，利于造型	

4.3　水玻璃砂

水玻璃砂成本低、高温退让性好、无毒、无味、有利于环境保护，对铸造生产的持续发展将会发挥重要作用。

4.3.1　粘结剂——水玻璃

1. 水玻璃的特点及制造工艺（见表4-49）

表4-49　水玻璃的制造工艺

水玻璃的特点	水玻璃（别名泡花碱）一般是指钠水玻璃——硅酸钠的水溶液 钠水玻璃的化学通式为 $Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ 纯净的钠水玻璃外观为无色透明的粘稠液体，当含有铁、锰、铝、钙的氧化物时，则带有黄绿、青灰和乳白等各种颜色

（续）

	制造方法	工 艺 要 点	模　数
制造工艺	固相法（干法）	将硅石粉和纯碱（Na_2CO_3）按一定比例混合后，在反射炉中加热到1400℃左右，生成熔融状硅酸钠： $mSiO_2 + Na_2CO_3 \Leftrightarrow Na_2O \cdot mSiO_2 + CO_2\uparrow$ 经过水淬或冷却后粉碎成块状，然后将硅酸钠碎块在热压釜内溶解，吸滤和浓缩后，所得产品即为水玻璃	固相法能制取高模数水玻璃（$M=3.0\sim3.7$）
	液相法（湿法）	将质量分数为30%的烧碱（NaOH）溶液和硅砂在0.4～0.7MPa的热压釜内加热到160℃左右，经真空吸滤和蒸发浓缩，即可制得水玻璃： $mSiO_2 + 2NaOH \Leftrightarrow Na_2O \cdot mSiO_2 + H_2O$	液相法一般只能制得$M<3$的水玻璃

2. 水玻璃的技术规格

1）用于铸造业的工业硅酸钠国家技术标准见表4-50。

表4-50　用于铸造业的工业硅酸钠国家技术标准（GB/T 4209—2008）

型号	级别	技术指标					
		w(Fe)(%)≤	w(水不溶物)(%)≤	密度(20℃)/(g/cm³)	$w(Na_2O)$(%)≥	$w(SiO_2)$(%)≥	模数M
液-3	优等品	0.02	0.02	1.136～1.165	10.2	25.7	2.6～2.9
	一等品	0.05	0.60				
	合格品	—	0.80				
液-4	优等品	0.02	0.2	1.368～1.391	9.5	22.1	2.2～2.5
	一等品	0.05	0.4				
	合格品	—	0.5				
液-5	优等品	0.02	0.2	1.525～1.599	12.8	29.2	2.2～2.5
	一等品	0.05	0.8				
	合格品	—	1.0				

2）铸造用钠水玻璃专业标准技术指标见表4-51。

表4-51　铸造用钠水玻璃专业标准技术指标（JB/T 8835—1999）

牌　号	技术指标					
	密度/(g/cm³)	$w(SiO_2)$(%)≥	$w(Na_2O)$(%)≤	模数M	w(Fe)(%)≤	w(水不溶物)(%)≤
ZS-2.90	1.4～1.5	25.7	10.2	2.51～2.90	0.04	0.6
ZS-2.50	1.50～1.56	29.2	12.8	2.2～2.50	0.05	0.8

3. 水玻璃模数及其调整方法

（1）模数　模数是影响水玻璃一系列性能的重要参数。二氧化硅与氧化钠的摩尔数之比称为水玻璃的模数，用 M 表示。

$$M = \frac{SiO_2 \text{ 摩尔数}}{Na_2O \text{ 摩尔数}} = \frac{SiO_2 \text{ 质量分数}}{Na_2O \text{ 质量分数}} \times 1.033$$

式中　1.033——SiO_2 的摩尔数与 Na_2O 的摩尔数的比值，即 62∶60 = 1.033。

（2）模数的调整方法

1）降低水玻璃模数的方法。降低水玻璃模数的实质是用火碱（NaOH）中和水玻璃中游离的 SiO_2。其方法，是向原高模数水玻璃溶液中加入质量分数为 10% ~ 20% 的 NaOH 水溶液，从而使模数 M 值降低。其加入量按下式计算：

$$X = 13.3 \times \frac{B}{M} - 12.9C \quad (4\text{-}1)$$

式中　X——每 kg 水玻璃应加入的 NaOH（g）；

B——原水玻璃中 SiO_2 的质量分数（%）；

M——要求达到的模数；

C——原水玻璃中 Na_2O 的质量分数（%）。

2）提高水玻璃模数的方法。提高水玻璃模数的实质是用工业氯化铵（NH_4Cl）中和水玻璃中的一部分氧化钠（Na_2O）。其方法是向原低模数的水玻璃溶液中加入质量分数为 10% 的 NH_4Cl 水溶液。其加入量按下式计算：

$$Y = 1.73\left(C - \frac{B}{M}\right) \quad (4\text{-}2)$$

式中　Y——每 kg 水玻璃应加入的 NH_4Cl（g）；

B——原水玻璃中 SiO_2 的质量分数（%）；

M——要求达到的模数；

C——原水玻璃中 Na_2O 的质量分数（%）。

4. 水玻璃密度及其调整方法

（1）水玻璃密度　水玻璃溶液中含有硅酸钠（$Na_2O \cdot mSiO_2$）的质量分数称之为浓度，常用密度（ρ）表示，铸造中则用波美度（°Be′）表示。由于温度对密度影响大，所以，说密度时应指出是在什么温度下测定的密度。

对于模数一定的水玻璃，密度越大，说明含硅酸钠越多，其中游离的 SiO_2 越多，硬化后的强度越高。密度大的水玻璃溶液粘度大，混砂困难，因此生产中常将水玻璃密度控制在 1.48 ~ 1.56g/cm^3。

生产中常用的“波美密度计”其上有两种刻度，可以测出溶液的波美度(°Be′)，也可以直接读出密度值。20℃的水玻璃，波美度（°Be′）与密度（ρ）的换算关系为

$$\rho = \frac{144.3}{144.3 - °Be'} \quad \text{或} \quad °Be' = 144.3 - \frac{144.3}{\rho} \quad (4\text{-}3)$$

当水玻璃模数和波美度一定时，水玻璃中的 SiO_2 和 Na_2O 含量则一定，它们之间

的关系如图 4-1 所示。只要知道水玻璃四个参数中任何两个，就可以求出另外两个参数。

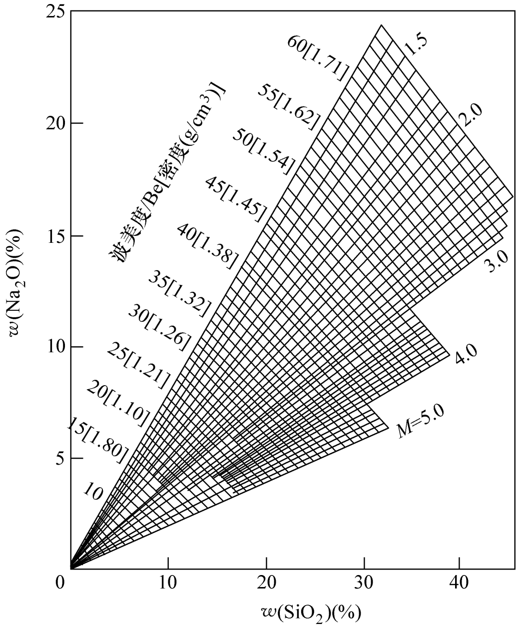


图 4-1　水玻璃模数、波美度（密度）与 SiO_2、Na_2O 质量分数的关系

（2）水玻璃密度的调整方法　调整水玻璃密度只需通过加热脱水或增水即能实现。

1）当密度太小时，只需通过加热脱水即可。

2）当密度（或浓度）太大时，可以加水稀释，其加水量（kg）可按下式计算：

$$加水量 = \frac{G(\rho - \rho_1)}{\rho(\rho_1 - 1)} \tag{4-4}$$

式中　G——要稀释的水玻璃重量（kg）；

ρ——稀释前的水玻璃密度（g/cm^3）；

ρ_1——稀释后水玻璃需要达到的密度（g/cm^3）。

5. 水玻璃模数和密度的选用

铸造中使用的水玻璃模数一般取 $M = 2.2 \sim 2.6$。模数过大，硬化时间缩短，强度降低；模数过小，则硬化时间延长，甚至不硬化。因此在生产中，水玻璃模数常需根据气候条件和不同季节加以控制和调整，来改变型砂的工艺性能（硬化性能、粘结强度、溃散性），以适应造型操作的要求。

对于模数一定的水玻璃，密度越大，说明含硅酸钠越多，其中游离的 SiO_2 越多，硬化后的强度越高。密度大的水玻璃溶液粘度大，混砂困难，因此生产中常将水玻璃密度控制在 $1.48 \sim 1.56 g/cm^3$。

水玻璃的选用见表 4-52。

表4-52 水玻璃的选用

模数		密度/(g/cm³)	选用
2.2~2.5	夏季	1.48~1.56	适用于大型铸件、单件小批生产的铸件用的水玻璃砂，CO_2 硬化水玻璃砂、水玻璃自硬砂、有机酯水玻璃砂
2.6~2.9	冬季		
2.6~2.9			适用于中、小型铸件和大批量生产的铸件

注：选用时，水玻璃中铁和水不溶物的含量应符合标准要求，且越低越好。

6. 改善水玻璃溃散性的技术方案

（1）传统的 CO_2 硬化水玻璃砂 一般要求有一定的湿压强度，以满足“先起模后硬化”的工艺需要，因此，配比中不得不加入一定量的粉状材料，水玻璃粘结作用不能充分发挥，导致水玻璃加入量居高不下，型砂易烧结，溃散性差。

新型 CO_2 硬化水玻璃砂，配比中不加粉状材料，没有湿强度。采用改性水玻璃、结合科学的吹 CO_2 工艺（如脉冲吹 CO_2），采用“先硬化后起模”的操作工艺，使得水玻璃加入量降低，溃散性提高。改性水玻璃有：RC 系列双组分硅铝复合水玻璃、强力2000多重变性水玻璃、Solosil-433 改性水玻璃、有机改性硅酸复盐水玻璃等。

（2）溃散剂 水玻璃砂中加入的溃散剂有：多糖类（如蔗糖、葡萄糖、糊精、淀粉）；树脂类（如呋喃树脂、水溶性酚醛树脂、酮醛树脂、有机酯）；油类（如渣油、沥青、动物油、植物油）；纤维素类（如聚醋酸乙烯、羧甲基纤维素、羟丙基甲纤维素）；碳质类（如煤粉、石墨粉）；无机物类（如氧化铁、氧化铝、氧化镁、碳酸钙）；矿石类（如氟化钙、氟化铝）。

7. 水玻璃硬化剂

水玻璃硬化剂有三类：①气体（CO_2）；②固体（硅铁粉、β 硅酸二钙、氟硅酸钠等）；③液体（如丙烯碳酸酯、多元醇乙酸酯等）。其中，固体硬化剂的使用逐渐减少。

目前最常用的水玻璃固化剂是：气态 CO_2 和液态有机酯。

4.3.2 水玻璃 CO_2 硬化砂

水玻璃 CO_2 硬化砂是我国铸钢生产的主体型砂。

1. 传统水玻璃 CO_2 硬化砂的配比和性能

传统的水玻璃 CO_2 硬化砂，水玻璃加入量大，溃散性差，但目前仍在不少工厂应用。

（1）铸钢件硅砂 CO_2 硬化水玻璃砂的配方和性能（见表4-53）

表4-53 铸钢件硅砂 CO_2 硬化水玻璃砂的配方和性能

序号	配比（质量分数，%）						性能				应用
	新砂		水玻璃	w(NaOH)=15%~20%溶液	重油	膨润土或高岭土	w(水)(%)	湿透气性>	湿压强度/kPa	硬化后抗压强度/MPa>	
	粒度（筛号）	加入量									
1	70/140	100	8~9	0.7	—	4~5	4~5	100	25~30	1.5	大型铸钢件型（芯）面砂

（续）

序号	配比（质量分数,%）						性能				应用
	新砂		水玻璃	w(NaOH)=15%~20%溶液	重油	膨润土或高岭土	w(水)(%)	湿透气性>	湿压强度/kPa	硬化后抗压强度/MPa>	
	粒度（筛号）	加入量									
2	40/70	100	6.5~7.5	—	—	—	4.5~5.5	300	5~15	—	铸钢件型（芯）砂
3	—	100	7	0.75~1.0	0.5~1.0	3	4.5~5.5	200	17~23	1.0	
4	50/100	100	4~4.5	LK-2 溃散剂 3	水 0.4~0.6	—	<3.5	150	—	1.0	
5	40/70	100	易溃水玻璃 5	溃散剂 1.0	水 1~1.5	—	—	—	5.5	1.3	
6	40/70	100	ZNM-2 改性 7	—	—	—	3.5~4.2	2450	7	1.3	
7	再生砂	30 70	8	—	—	1~2	3.8~4.4	100	8~12	3.0	铸钢件型砂

（2）铸钢件石灰石水玻璃砂的配方和性能（见表 4-54）

表 4-54　铸钢件石灰石水玻璃砂的配方和性能

配比（质量分数,%）						性能				混砂工艺
石灰石砂	水玻璃	粘土	柴油	膨润土	外加水	w(水)(%)	湿强度/kPa	干强度/kPa	透气性	
1	2	3	4	5	6					
100	7~8	—	0.2	0.5~1.0	适量	4.5~5.5	16	—	>230	1+2+4+5 混碾 10min
100	6~7	—	—	—	适量	4.5~5.5	5~10	>150	>550	1+2+6 混碾 6min
100	7~8	—	—	—	适量	5~6	5~25	>80	>800	1+2 混碾 5min
100	7~8	<3	—	0.5~1.0	适量	5~6	25~30	>50	>400	1+3 混 2min 2+5 混 5min

（3）铸铁件硅砂水玻璃 CO_2 硬化砂的配方和性能（见表 4-55）

表 4-55　铸铁件硅砂水玻璃 CO_2 硬化砂的配方和性能

序号	配比(质量比)						性　能		应用
	新砂		水玻璃	膨润土或高岭土	w(水)(%)	煤粉	湿透气性	湿压强度/kPa	
	粒度	加入量							
1	新砂 50/100	50	4.5～5.5	1～2	4～6	—	>80	25～40	<1t 铸铁件型砂
	旧砂	50							
2	新砂 50/100	50	5.5～6.5	1～2	4～6	2～4	>80	25～40	
	旧砂	50							
3	新砂 40/70	60	5～6	2～4	4～6	—	>100	30～50	1～5t 铸铁件型砂
	旧砂	40							
4	新砂 40/70	60	5.5～6.5	2～3	4～6	木屑 1.0～1.5	>100	30～50	1～5t 铸铁件芯砂
	旧砂	40							

（4）水玻璃 CO_2 硬化砂的常见缺陷及改进方案（见表 4-56）

表 4-56　水玻璃 CO_2 硬化砂的常见缺陷及改进方案

序号	常见缺陷	原因分析	改进方案
1	可使用时间太短	1）原砂烘干后，没有冷到室温 2）水玻璃模数和密度大 3）混砂时间过长 4）出碾时水分过低 5）出碾后型砂保存不好	1）原砂烘干后冷却到室温使用 2）夏季应用低模数水玻璃 3）混匀即可，时间尽量短 4）混砂时，加水质量分数 0.51%～1.0% 5）出碾后型砂放在有盖容器中，或用湿麻袋盖好
2	冬季室温低于 10℃ 时，砂型吹不硬	1）型砂的出碾含水量过高 2）水玻璃模数、密度低 3）室温及砂温过低	1）选模数与密度较高的水玻璃 2）原砂烘干后使用 3）冬季原砂预热到 30 ℃左右 4）混砂时加入促凝剂、硫酸亚铁（$FeSO_4$）质量分数 0.5%左右
3	粘模	1）型砂含水量过 2）模样表面的脱模漆不合适	1）原砂烘干后使用 2）水玻璃密度应合适 3）模样表面涂耐碱的脱模漆，如过氧乙烯漆、外用磁棒、聚氨酯漆 4）在脱模漆表面再涂脱模漆

（续）

序号	常见缺陷	原因分析	改进方案
4	表面稳定性太低（见表面粉化）	1）水玻璃密度低 2）原砂含水量过高 3）吹 CO_2 时间过长 4）水玻璃加入量过低	1）选模数和密度合适的水玻璃 2）含水量过高的原砂烘干后使用 3）控制吹 CO_2 的压力和流量 4）适当增加水玻璃加入量
5	铸件气孔	1）型砂残留含水量高 2）砂型出气孔扎的少或太浅	1）采用经烘干的原砂 2）尽量减少水玻璃加入量 3）多扎出气孔，或其他有利排气措施 4）必要将砂型烘干
6	铸件粘砂	1）砂型表面没有舂实 2）原砂粒度太粗 3）涂料质量不好或涂刷操作不当	1）选用粒度较细的原砂 2）砂型（芯）要舂实 3）用优质涂料、涂膏，并注意涂刷质量 4）厚壁铸钢件，采用铬铁矿砂或锆砂作面砂，并刷涂料
7	出砂困难	1）水玻璃加入量过高 2）原砂中 SiO_2 含量偏低，微粉和含泥量偏高	1)采用符合要求的原砂 2）尽量降低水玻璃加入量 3）采用溃散性好的改性水玻璃 4）加入适用的溃散剂 5）采用石灰石砂作原砂 6）采用铅铁矿砂、错砂配制面砂 7）采用优质涂料或涂膏

2. 改性水玻璃 CO_2 硬化砂的配比和性能（见表 4-57）

改性水玻璃 CO_2 硬化砂中的水玻璃加入量较少，浇注后具有较好的溃散性。

表 4-57 CO_2 硬化改性水玻璃砂新型配比和性能

序号	改性水玻璃名称	原砂		水（质量分数，%）	RC 复合物	水玻璃（质量分数，%）	抗压强度/MPa
		新砂	旧砂				
1	RC 系改性水玻璃①	10	90	1	1	3～4	24h，2.5
2	强力 2000 多重变性水玻璃	水洗砂 100		—	—	3	3h，2.4
3	Solosil-433 改性水玻璃②	100				4.5	放置 1d，0.358
4	有机改性硅酸复盐水玻璃	100	—	—	—	3～3.5	24h，0.3～0.5

① 混砂工艺：砂（新砂 10 + 旧砂 90） + 水（1） + 复合物 RC（1）→预混 2min→ + 水玻璃（3～4）→混砂 2min，出碾。

② Solosil-433 水玻璃中加入助粘剂（质量分数为 30% 的氢化水解淀粉溶液及少量的促进剂和树脂），提高水玻璃粘结强度，溃散性好。

4.3.3 真空置换硬化（VRH）法

VRH 法即水玻璃砂真空置换硬化法。它不像传统 CO_2 硬化法那样，向砂型内强制吹入 CO_2 使之硬化，而是采用使水玻璃砂型内处于负压状况吸入 CO_2 使之硬化。

VRH 法工艺的主要特点是：①水玻璃加入量降到2.5%～3.5%，显著改善溃散性，旧砂再生回收率大于90%；②有利于提高铸件的尺寸精度；减少铸件的气孔、针孔缺陷；③降低造型材料费用，提高经济效益。缺点是：设备投资大，真空室尺寸固定，不能适应过大或过小的砂箱或芯盒。

VRH 工艺的适用范围：一直利用 CO_2 硬化砂工艺生产的车间；特殊铸钢车间，如不锈钢铸件、耐热钢铸件、耐磨钢铸件生产的车间；小型铸钢车间；铜合金、铝合金铸件的生产；欲克服采用有机自硬性树脂砂工艺在浇注时会产生刺激性臭味这一公害的车间。

在生产中，将 VRH 法与复合改性水玻璃，或 CO_2 的预热、稀释、脉冲吹气工艺结合，将会使水玻璃砂强度进一步提高。

1. VRH 硬化砂的原材料、基本配方及性能（见表4-58、表4-59）

表4-58 VRH 硬化砂的原材料、基本配方及性能

序 号	原材料	性能要求（质量分数，%）
1	新硅砂	1）SiO_2≥96% 2）水分≤0.5% 3）微分量（过200号筛）≤1.5% 4）粒形：圆形、多角形
2	再生砂	1）水分≤0.3% 2）微分量（过200号筛）≤1.0% 3）残留 Na_2O≤0.5%
3	水玻璃	1）模数2.0～2.2 2）密度（20℃，°Be′）：夏季50～51，冬季48～50

表4-59 VRH-CO_2 硬化砂基本配方及性能

配方（质量分数，%）			性 能						
硅砂	再生砂	水玻璃	表面稳定性	铸型强度/MPa			高温强度/MPa		
				硬化后	硬化2h后	硬化24h后	200℃	600℃	800℃
15	85	2.5～3.5	>85%	50～80	80～120	200～300	300～400	<50	150～250

2. VRH 硬化的工艺要点（见表4-60）

表4-60 VRH 硬化的工艺要点

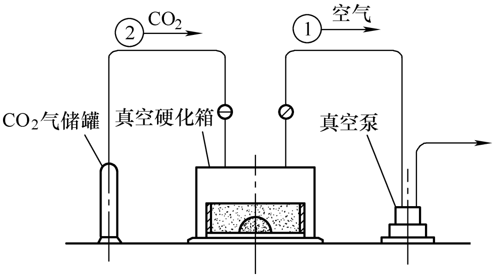
序号	工 艺 要 点	说 明
1	混砂质量均匀性	由于水玻璃加入量减少1/2，为使砂粒表面上均匀覆着一层很薄的水玻璃薄膜，从而提高砂型强度，在工艺上要求混砂均匀性。为此，对混砂机性能提出了要求 根据经验介绍： 1）连续混砂机混砂强度不均匀性大于16% 2）碾轮式混砂机混砂强度不均匀性为1.5%，且强度比连续混砂机要高0.10～0.2MPa；一般混砂不均匀性，应小于10%为宜

（续）

序号	工艺要点	说明
2	砂型强度及表面稳定性	VRH 硬化工艺，水玻璃加入量（质量分数）为 2.5% ~3.5%，放置 2h 后的目标值：强度应为 1.5MPa，表面稳定性应大于 85% 当原砂松密度 >1.8g/cm³ 时，水玻璃加入量（质量分数）为 2.5% ~3.5% 时，砂型强度和表面稳定性可以达到目标值
3	溃散性	这是 VRH 硬化工艺的关键之一。影响溃散性两个因素，一是水玻璃加入量；二是开箱时间（开箱温度） 当水玻璃加入量相同，随开箱时间延长（砂温降低），铸型溃散性改善。如宝鸡桥梁厂用镁橄榄石砂，水玻璃加入量（质量分数）3.5%，24h 开箱（温度在 200℃左右），溃散性良好。芯砂出砂率达 85%；若 16h 开箱，出砂率只有 60% ~70%，但开箱时间应于车间生产平衡
4	砂再生	对再生砂的要求： 1）再生砂中残留的 Na_2O 含量不能太高 2）粉尘不能太多 3）落砂后要冷却到室温 4）开箱时间不能太短。为此，要加强除尘系统设计的合理性，并加强管理

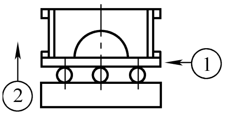
3. VRH 硬化法原理（见表 4-61）

表 4-61　VRH 硬化法原理

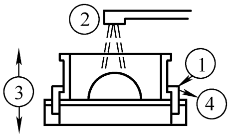
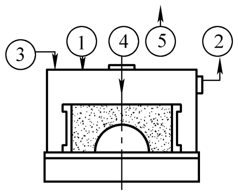
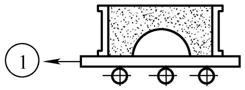
VRH 硬化法原理真空置换示意图	 ①抽出砂型中的空气　②充入 CO_2 气
硬化原理	先将水玻璃砂型送入真空硬化箱内，抽真空到 2 ~2.7kPa，并保持一定时间，进行真空脱水硬化，然后，通入 30s 左右的 CO_2，进行化学硬化 抽真空的作用：一可以使水玻璃砂型很快脱水，促使砂型硬化；二是砂粒间的空气被抽掉，改善了 CO_2 的浸透性，提高了 CO_2 在砂粒表面覆盖的程度

4. VRH 硬化工序（见表 4-62）

表 4-62　VRH 硬化工序

VRH 硬化工序			简图
1	放置砂箱	①将砂箱放在带模样的底板上，运进 ②振动台上升	

（续）

VRH 硬化工序			简　　图
2	放 砂、振动	①夹紧砂箱 ②混砂机运转、放砂 ③振动 ④松开砂箱	
3	真空硬化	①真空硬化箱下落 ②抽真空 ③充 CO_2（保持充分） ④二次充入空气 ⑤真空硬化箱上升	
4	运出砂箱	①驱动辊道运行	

5. VRH 工艺的主要设备（见图 4-2）

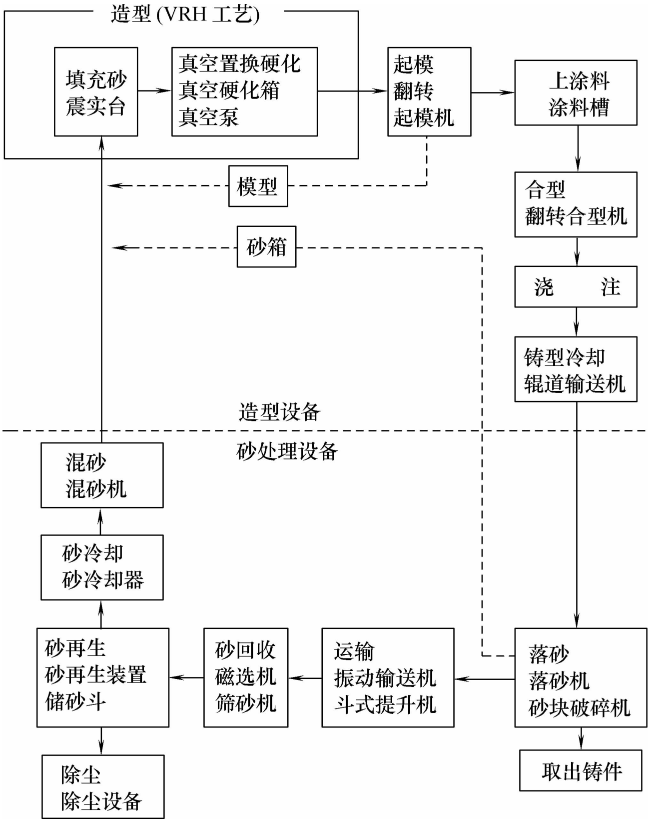


图 4-2　VRH 工艺使用的主要设备

4.3.4 有机酯水玻璃自硬砂

有机酯水玻璃自硬砂，克服了自硬树脂砂成本高、生产现场气味浓、劳动条件差的缺点，又具备树脂自硬砂的优点，已成为铸钢件生产工艺改造的重要选择方案。

1. 液态固化剂——有机酯

水玻璃砂最常用的液态固化剂是有机酯。有机酯是多元醇和弱酸形成的酯。有机酯在碱性水溶液中发生水解，生成有机酸和醇。有机酸与水玻璃反应，生成皂化物和由硅酸形成的硅酸凝胶。硅酸凝胶逐渐脱水，使凝胶达到一定强度。所以说，有机酯水玻璃自硬砂的硬化，是水玻璃形成凝胶和凝胶脱水的综合结果。

目前，用于铸造生产的有机酯除了丙烯碳酸酯外，最常用的有机酯有 4 种：①乙二醇二乙酸酯（硬化速度慢）；②二乙二醇二乙酸酯（硬化速度快）；③丙三醇二乙酸酯（硬化速度极快）；④丙三醇三乙酸酯（硬化速度极慢）。其中，丙三醇二乙酸酯和丙三醇三乙酸酯，用于调节硬化速度。我国供应最普遍的 MDT 系列有机酯在不同使用温度时的配比见表 4-63。

表 4-63 MDT 系列有机酯在不同使用温度时的配比（质量比）

有机酯名称 \ 使用温度/℃	0	5	10	15	20	25	30	35
MDT-901（慢酯）	—	0	20	40	60	80	100	50
MDT-903（快酯）	90	100	80	60	40	20	0	—
MDT-800（极慢）	—	—	—	—	—	—	—	50
MDT-Q（极快）	10	—	—	—	—	—	—	—

某公司新近推出的新型水玻璃及其配套专用酯类固化剂见表 4-64。

表 4-64 新型水玻璃性能指标

序号	新型水玻璃				（与新型水玻璃匹配的）专用酯类固化剂				
	牌号	粘度/mPa·s	密度/(g/cm³)	型砂抗拉强度(24h)/MPa	牌号	粘度/mPa·s	密度/(g/cm³)	残酸量(%)	使用温度/℃
1	ZCS-101	150～350	1.3～1.6	0.7～1.4	ZCG-130	<100	1.1～1.2	≤2	特慢酯≥30
2	ZCS-102	150～350	1.3～1.6	0.6～1.4	ZCG-131	<100	1.1～1.2	≤2	慢速酯≥25
3	ZCS-103	150～350	1.3～1.6	0.6～1.0	ZCG-132	<100	1.1～1.2	≤2	中速酯 15～25
4	ZCS-104	150～350	1.3～1.6	0.5～1.0	ZCG-133	<100	1.1～1.2	≤2	快速酯 10～15
5	ZCS-105	150～350	1.3～1.6	0.5～1.2	ZCG-134	<100	1.1～1.2	≤2	快速酯 5～10
6	ZCS-106	150～350	1.3～1.6	0.5～1.2	ZCG-135	<100	1.1～1.2	≤2	特速酯≤0

注：型砂可使用时间在 5～90min 之间。

选择有机酯时，首先应根据铸件的结构特点及所需要的操作时间，来确定型砂的

使用时间；然后，在这个基础上，经过严格的工艺试验（包括与之配合的水玻璃），确定选用快酯、中酯或慢酯，或根据工厂具体情况，再用调节酯进行调节。

2. 有机酯水玻璃自硬砂的配比和性能

（1）有机酯水玻璃自硬砂配比和性能　见表4-65。

表4-65　有机酯水玻璃自硬砂配方

序号	配比（质量比）					性　能			
	原砂（40/70）	水玻璃		有机酯		w（水）（%）	抗压强度/MPa		
		指标	加入量	名称	加入量		1h	24h	1000℃残留
1	100	$M=2.6$ $\rho=1.46g/cm^3$	3.5	CSC-4酯	0.21	—	0.34	2.6	0.41
2	100		3.0	CSC-4酯	0.18	—	0.33	2.6	0.34
3	100		4.5~5.0	乙二醇二醋酸酯	0.4	3.0~3.5	—	≥1.8	—
4	100		2.5~2.8		0.22~0.34		—	≈2	≈0.2

注：CSC-4酯主要成分为乙二醇醋酸酯。对原砂要求铸钢件$w(SiO_2)>97\%$，铸铁件$w(SiO_2)>90\%$。此外，w（泥量）<0.5%，角形因数<1.3，w（水）<0.3%，烘干的原砂冷却到室温后使用。

（2）特种有机酯硬化水玻璃砂配方和性能　见表4-66。

表4-66　特种有机酯硬化水玻璃砂的配方及性能

配比（质量比）				初期强度/MPa					终强度/MPa	环境条件	
锆砂	铬铁矿砂	有机酯①	水玻璃 $M=2.3$	32min	45min	1h	1.5h	3h		温度/℃	相对湿度（%）
100	—	0.2	1.5	0.11	0.16	0.20	0.58	0.86	4.27	7.5	64
—	100	0.2	1.7	0.02	0.07	0.18	0.33	0.77	4.10	7.5	64

① MDT-902 3份，MDT-Q调节酯1份。

（3）混砂工艺　优先选用连续式混砂机、碗形或振动式等高速混砂机。混砂加料顺序：原砂→有机酯→水玻璃。混砂时间尽量短，混匀即可，因为有机酯水玻璃自硬砂的可使用时间较短。

3. 有机酯水玻璃自硬砂的常见缺陷及解决方案（见表4-67）

表4-67　有机酯水玻璃自硬砂的常见缺陷及解决方案

序号	出 现 问 题	原 因 分 析	解 决 方 案
1	可使用时间短（常发生在夏天的高温季节），砂型强度低，型（芯）表面发酥	1）水玻璃模数太高 2）所用有机酯不合适（硬化速度过快） 3）混砂时间过长 4）原砂温度太高 5）生产组织和混砂设备不配套	1）采用较低模数的水玻璃 2）采用硬化速度慢的有机酯 3）缩短混砂时间 4）给原砂冷却降温，不使用热砂 5）调整生产节奏，在可使用时间内完成造型、制芯

（续）

序号	出现问题	原因分析	解决方案
2	硬化速度太慢（常在冬天的低温季节出现）	1）水玻璃模数太低 2）所用有机酯不合适（硬化速度太慢） 3）原材料的温度太低	1）采用较高模数的水玻璃 2）采用硬化速度快的有机酯 3）预热原砂、水玻璃、模板等 4）提高生产环境下的温度
3	砂型（芯）产生蠕变、塌落	1）型砂配比不合适，硬化反应不完全 2）原砂水分过高 3）原材料定量不准、定量失控 4）水玻璃、有机酯质量失控，例如：水玻璃的模数偏低，有机酯的加入量不足、杂质含量高等	1）调整配比，增加有机酯加入量，或提高水玻璃的模数 2）加强对原材料质量的检测和监控，不用不合格的原材料 3）加强对混砂机定量系统的监控，保证原材料加入量的定量准确 4）注意小试样强度性能测试时的假象（受空气中 CO_2 和风干的影响）
4	粘模	1）模具表面油漆不合适 2）起模时砂型（芯）的强度太低	1）模具表面涂刷不被有机酯重溶的油漆，如树脂漆等 2）待砂型（芯）硬化强度更高后起模
5	铸件冲砂、夹砂	1）浇注系统设置不当 2）砂型（芯）强度太低 3）浇道及砂型中有浮砂	1）设置浇注系统时，不使金属液直接冲击砂型（芯），在直浇道底部垫耐火砖片 2）大、中型铸件浇注系统采用耐火砖 3）调整型砂配比，提高砂型（芯）的强度，加强造型操作管理 4）合型前吹净浇道和型腔中的浮砂
6	铸件表面粘砂	1）涂料质量差，涂层薄 2）砂型紧实度低 3）砂型强度低，表面发酥 4）造型材料耐火度不高	1）选用质量好的涂料，涂刷到规定的厚度 2）提高砂型紧实度，舂砂操作在型砂的可使用时间内完成 3）加强配砂和造型工序的质量管理控制 4）在铸件热节大、散热条件差的部位使用特种砂（如铬铁矿砂等）
7	铸件气孔	1）原砂水分含量高 2）型砂混合不均匀，局部水分高 3）砂型吸湿	1）加强原材料质量检测，严禁使用湿原砂 2）加强设备维修管理，确保运转正常 3）选用混砂功能好的设备 4）采取防止砂型（芯）回潮吸湿的措施，采用热风烘干原砂工艺
8	残留强度偏高	1）水玻璃加入量过高 2）原砂质量不合格、易烧结	1）尽量降低水玻璃的加入量，采用高质量原砂 2）采用改性水玻璃 3）加溃散剂

4.4 树脂砂

合成树脂砂简称树脂砂。在大量流水生产或大批量生产的铸造车间，用树脂粘结剂制芯，配合高压、挤压、冲击、静压等高密度造型工艺，为大量生产薄壁、光洁、加工余量小的复杂铸件创造了条件。对单件或小批量生产的铸造车间，树脂自硬砂和冷芯盒的应用，也能使车间面貌、生产效率以及铸件质量发生了根本变化。

4.4.1 粘结剂——合成树脂粘结剂

各种铸造树脂的分类见表4-68。

表4-68 铸造树脂的分类

序号	树脂类型	主要构成	工艺类型
1	呋喃	尿醛(UF)+糠醇(FA)	自硬、热芯盒、温芯盒、冷芯盒、(SO_2)硬化
2	酚醛	苯酚(P)+甲醛(F)	壳型(芯)、自硬、热芯盒、(烘干硬化)冷芯盒(CO_2 和甲酸甲酯硬化)
3	酚醛呋喃	UF+FA+PF	自硬、热芯盒、温芯盒
4	酚尿烷	PF+聚乙氰酸酯(MDI)	冷芯盒(TEA硬化)、自硬
5	其他	环氧、丙烯酸、聚乙醇等	冷芯盒(SO_2 和 CO_2 硬化、烘干硬化)

（1）覆膜砂粘结剂——热塑性固体酚醛树脂　其牌号和性能指标见表4-69。

表4-69 热塑性酚醛树脂牌号和性能指标（JB/T 8834—2001）

项　目	牌号和性能指标			
	ZKF-75-X	ZKF-85-X	ZKF-95-X	ZKF-105-X
软化点(环球法)/℃	70~80	>80~90	>90~100	>100~105
游离酚(溴化法)(质量分数,%)	≤5.5	≤4.5	≤4.5	≤4.5
流动性(斜板法)/mm	60~110			
聚合速度(热板法)/s	20~60			
覆膜砂常温抗弯强度/MPa	≥6.0			

注：覆膜砂中树脂加入量（质量分数,%）为3。

酚醛树脂的固化剂——六次甲基四胺（乌洛托品），其性能指标见表4-70。

表4-70 乌洛托品的性能指标（质量分数）（GB/T 9015—1998）　（%）

级别	外观	纯度	干燥失重	灰分
一级	白色结晶粉末	≥99	≤0.5	≤0.03
二级	白色或微带色调结晶	≥98	≤1.0	≤0.08

（2）热芯盒用树脂粘结剂——呋喃树脂和酚醛树脂

1）铸造用热芯盒树脂的牌号和性能指标见表4-71。

表 4-71　铸造用热芯盒树脂牌号和性能指标（JB/T 3828—1999）

指标名称 \ 牌号		RO-××②		R5-××		R7-××	R10-××	R15-××
		呋喃	酚醛	呋喃	酚醛			
含氮量(质量分数,%)		0		>0~5		>5~7.5	>7.5~10.5	>10.5
固体含量(质量分数,%)		<65	<80	<75		<80	<80	<80
游离甲醛含量(占树脂重量的百分比,%)		<2	<4	<2	<5	<5	<5	<4
pH 值		6~7		6~7		5.5~7.0	6~7	6~7
粘度(20℃)/Pa·s		<0.065	<1	<0.1	<0.34	0.165~0.90	0.2~1.0	0.25~1.2
抗拉强度①/MPa	热态	>0.2		>0.4		>0.4	>0.4	>0.2
	常温	>1.6		>2.8		>2.8	>2.8	>1.5

① 强度试验用树脂砂配比（质量比）：标准砂（ZBS50/100）100，热芯盒树脂 2.5，固化剂（树脂量的）20。树脂中氮的质量分数在 6.5% 以上时用氯化铵∶尿素∶水 = 1∶3∶3 的固化剂；树脂中氮的质量分数在 6.5% 以下时，用对甲苯磺酸∶水 = 1∶1 的固化剂。

② ××为生产厂产品编号。

2）国产部分热芯盒树脂的性能指标见表 4-72。

表 4-72　国产部分热芯盒树脂的性能指标

序号	类型	含氮量(质量分数,%)≤	粘度/Pa·s≤	密度/(g/cm³)	游离甲醛(质量分数,%)≤	pH 值	保存期/月	适用范围
1	呋喃树脂	14	1.5	1.18~1.30	2.0	6.7~7.5	6	非铁合金
2	呋喃树脂	11	1.5	1.20~1.30	4.0	7~8	6	一般灰铸铁
3	呋喃树脂	7	1	1.22~1.27	3.0	6.7~7.5	6	高级灰铸铁
4	呋喃树脂	3	0.1	1.15~1.20	2.0	6.7~8.0	6	灰铸铁及球墨铸铁
5	酚醛树脂 呋喃树脂	6	0.5	1.20~1.30	1.0	6.7~7.5	4	高级灰铸铁
6	酚醛树脂 呋喃树脂	0.5	1.5	1.20~1.30	2.0	6.7~7.5	4	铸钢

3）国产部分热芯盒树脂配套固化剂的性能指标见表 4-73。

表 4-73　国产部分热芯盒树脂配套固化剂的性能指标

序号	总酸量(质量分数,%)	粘度/mPa·s≤	密度/(g/cm³)	pH 值	适用树脂类型
1	—	10	1.10~1.20	6.5~8.0	高氮树脂
2	12.5~14.5	20	1.10~1.35	—	中、低氮树脂

（续）

序号	总酸量(质量分数,%)	粘度/mPa·s≤	密度/(g/cm^3)	pH 值	适用树脂类型
3	6.8～8.5	20	1.10～1.20	—	高氮树脂
4	6.0～8.0	20	1.0～1.20	—	高氮树脂
5	—	20	1.0～1.20	7～10	中氮树脂

（3）冷芯盒用树脂粘结剂　冷芯盒工艺是一种节能、低污染、高效的造型（芯）工艺。其中的三乙胺法酚尿烷树脂，是目前处于主导地位的冷芯盒工艺。冷芯盒树脂的主要性能指标和硬化气体类型以及适用范围见表 4-74。

表 4-74　冷芯盒树脂的主要性能指标和硬化气体类型以及适用范围

序号	性能 / 树脂类型	硬化气体	主要技术指标				适用范围
			氮(质量分数,%)	粘度/mPa·s	游离酚(质量分数,%)	游离醛(质量分数,%)	
1	酚尿烷树脂	TEA(三乙胺)	1.5～2.5	≤450	≤5	≤0.5	大批量、复杂型芯
2	呋喃树脂	SO_2	2～5	≤1000	0	≤1	大批量、复杂型芯
3	环氧树脂	SO_2	—	≤1000	≤1	0	大批量、简单型芯
4	酚醛树脂	CO_2	≤0.5	≤1000	≤1	≤0.5	中批量、简单型芯
5	酚醛树脂	甲酸甲酯	≤0.5	≤1000	≤1	≤0.5	大批量、中等复杂型芯
6	丙烯酸树脂	CO_2	≤0.5	≤2000	—	—	小批量、简单型芯
7	聚乙烯醇树脂	CO_2	≤0.5	≤2000	—	—	小批量、简单型芯

（4）自硬砂用树脂粘结剂　树脂自硬砂工艺广泛应用于单件、小批、高质量铸件的生产。固化剂为磺酸，都是由铸造树脂生产厂与树脂配套供应的。

自硬砂所用的树脂粘结剂的种类、主要技术指标及适用范围见表 4-75。

表 4-75　各种自硬砂用的树脂类型、主要技术指标及适用范围

树脂类型		主要技术指标					适用范围
		氮(质量分数,%)	粘度/mPa·s	游离醛(质量分数,%)	游离酚(质量分数,%)	比强度/MPa	
1	呋喃树脂Ⅰ	5～10	≤50	≤0.5	—	≥1.0	非铁合金
	呋喃树脂Ⅱ	2～4	≤30	≤0.3	—	≥1.0	铸铁
	呋喃树脂Ⅲ	1～2	≤15	≤0.3	—	≥1.0	球墨铸铁、一般铸钢
	呋喃树脂Ⅳ	≤0.5	≤15	≤0.3	—	≥0.9	各种铸钢
2	酚醛呋喃树脂	0.5～4	高于同类呋喃树脂	≤0.2	≤1.0	相当于呋喃自硬树脂的 90%	与同类呋喃树脂相同

（续）

树脂类型		氮(质量分数,%)	粘度/mPa·s	游离醛(质量分数,%)	游离酚(质量分数,%)	比强度/MPa	适用范围
		主要技术指标					
3	酚醛树脂	无	≤100	≤0.2	≤5	相当于呋喃自硬树脂的70%	铸钢
4	碱性酚醛树脂	无	≤120	≤0.2	≤0.5	相当于呋喃自硬树脂的60%	铸钢、球墨铸铁、非铁合金
5	酚尿烷树脂	1.5～2.5	≤150	≤0.5	≤5	相当于呋喃自硬树脂的85%	铸铁、非铁合金、铸钢

在表4-75中的5类树脂中，呋喃树脂粘结剂强度高、粘度小、毒性小、旧砂再生利用率高，是目前应用广泛的自硬树脂。《铸造用自硬呋喃树脂》（JB/T 7526—2008）的分级和技术标准见表4-76。

表4-76　自硬呋喃树脂的技术标准（JB/T 7526—2008）

<table>
<tr><th colspan="2">分　类</th><th colspan="2">按强度/MPa① 分级≥</th><th colspan="2">按游离甲醛(占树脂重量,%)分级</th><th colspan="3">技术指标(20℃)</th></tr>
<tr><th>分类代号</th><th>含氮量(质量分数,%)</th><th>1
(一级)</th><th>2
(二级)</th><th>01
(一级)</th><th>03
(二级)</th><th>粘度/mPa·s</th><th>密度/(g/cm³)</th><th>游离酚(质量分数,%)</th></tr>
<tr><td>W(无氮)</td><td>≤0.5</td><td>1.2</td><td>1.0</td><td rowspan="4">≤0.1</td><td rowspan="4">>0.3</td><td rowspan="3">≤60</td><td rowspan="4">1.10～1.25</td><td>≤0.5</td></tr>
<tr><td>D(低氮)</td><td>>0.5～2.0</td><td>1.5</td><td>1.3</td><td rowspan="3">≤0.3</td></tr>
<tr><td>Z(中氮)</td><td>>2.0～5.0</td><td>1.8</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>G(高氮)</td><td>>5.0～10.0</td><td>1.4</td><td>1.2</td><td>≤150</td></tr>
</table>

①　指工艺试样干拉强度/MPa。

4.4.2　覆膜砂

在造型制芯前，将砂粒表面上已覆有一层固态树脂膜的型砂和芯砂称为覆膜砂或壳型（芯）砂。

工艺过程是：用热塑性酚醛树脂加潜伏性固化剂（如乌洛托品）与润滑剂（如硬脂酸钙）通过一定的覆膜工艺配制成覆膜砂。覆膜砂受热时，包覆在砂粒表面的树脂熔融，在乌洛托品分解出的亚甲基作用下，熔融的树脂由线性结构迅速转变为不熔不溶的体型结构，从而使覆膜砂固化成型。覆膜砂的砂芯表面质量好，可使铸件尺寸精度达CT7～CT8级，表面粗糙度值可达 $Ra=6.3\sim12.5\mu m$。

1. 铸造用覆膜砂的技术标准

（1）覆膜砂分级（见表4-77）

表4-77 铸造用覆膜砂分级（JB/T 8583—2008）

按常温抗弯强度分级							按灼烧减量分级						
级别代号	8	7	6	5	4	3	级别代号	20	25	30	35	40	45
常温抗弯强度/MPa	8	7	6	5	4	3	灼烧减量(质量分数,%)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5

（2）铸造用覆膜砂牌号表示方法（JB/T 8583—2008）

FMS ×—××—×× ×

└Q或H

└覆膜砂的粒度筛号代号

└灼烧减量的分级代号

└常温抗弯强度分级代号

└铸造用覆膜砂(覆、膜、砂的汉语拼音第一字母)

示例：FMS6—35—21Q。

（3）覆膜砂必测的性能指标　有常温抗弯强度、热态抗弯强度、灼烧减量、粒度和熔点。其中，常温抗弯强度和灼烧减量应符合表4-77的规定。熔点为96~105℃，热态抗弯强度为1.4~4.0MPa。粒度分组按GB/T 9442—2010的规定。

2. 覆膜砂的基本配方和热法混砂工艺（见表4-78）

表4-78 覆膜砂基本配方及混砂工艺

配方(质量比)					热法覆膜砂混砂工艺（叶片式混砂机）
硅砂	粘结剂	固化剂	润滑剂	添加剂（占原砂重量）	1）原砂加热,砂温140~160℃ 2）加树脂混碾时间45~50s 3）砂温降至105~110℃时,加乌洛托品混碾10s 4）加硬脂酸钙混碾45~50s 5）砂温降至70℃以下时,卸砂—冷却—破碎时间10s 6）筛分
	酚醛树脂（占原砂重量）	乌洛托品（占树脂重量）	硬脂酸钙（占树脂重量）		
100	1.0~3.0	10~15	5~7	0.1~0.5	
擦洗砂	热塑性固态酚醛树脂	乌洛托品水溶液1∶1	一级品的硬脂酸钙	各种性能添加剂	

注：原砂：天然擦洗硅砂。铸钢件要求 $w(SiO_2)>97\%$，铸铁件和非铁合金件要求 $w(SiO_2)>90\%$。w(泥)≤0.2%。粒度为100/50或70/140号筛。平均细度为50~65。粒形选圆整性好的硅砂，角形系数≤1.3，酸耗值≤5mL。

3. 覆膜砂种类及覆膜砂工艺应用案例

（1）覆膜砂的种类（见表4-79）

表4-79 覆膜砂的种类

序号	覆膜砂种类	适用范围
1	普通覆膜砂	适用于一些要求不高、结构较简单的铸铁件生产

（续）

序号	覆膜砂种类	适 用 范 围
2	高强度低发气覆膜砂	小型、复杂、精密的多缸发动机的水冷缸盖、阀体类的铸钢件和铸铁件的砂型（芯）
3	耐高温覆膜砂	复杂薄壁精密的铸铁件（如汽车发动机缸体、缸盖等）以及高要求的铸钢件（如集装箱箱角和火车制动缓冲器壳体等）的砂芯
4	耐高温、低膨胀、低发气覆膜砂	
5	易溃散覆膜砂	进气岐管、缸盖水套砂芯、增压涡轮壳体等
6	湿态覆膜砂	湿态手工类覆膜砂用于手工制芯；湿态机械类覆膜砂用于直接代替热芯盒砂，用射芯机制芯，射头不用改装
7	离心铸造覆膜砂	该覆膜砂适用于热模法离心铸造工艺，可用它代替涂料生产离心铸管等

（2）覆膜砂工艺应用案例（见表4-80）

表4-80　覆膜砂工艺应用案例

序号	工 艺 方 法		工 艺 要 点
1	制造实体芯	湿态覆膜砂	直接利用热芯盒设备和工装制芯
		干态覆膜砂	干态覆膜砂的流动性好，芯盒的排气方式、射嘴、密封应特殊处理。采用干态覆膜砂热芯盒制芯工艺较多
2	制造型壳	固定式射砂机（可用于干态覆膜砂或湿态覆膜砂）	铁砂质量比1:（1.5～4），起模斜度0.5°、1°，壳型壁厚8～12mm。用于制造凸轮轴类零件、制动片盘类零件、阀体零件等
		翻转式射砂机（仅用干态覆膜砂）	
3	制造壳芯	摇摆式壳芯机（型号K85、K87、K89）	工序：射砂→结壳→排出余砂→固化→起模→完成制芯 工艺参数：①芯盒温度：230～300℃；②射砂压力0.15～0.4MPa，射砂时间3～6s；③结壳时间，壳厚6～8mm时，结壳时间10～30s；壳厚10mm时，结壳时间20～65s；④摇摆倒砂时间：一般为5～10s；⑤硬化时间：一般控制在20～100s
4	热法离心铸造	离心铸造用覆膜砂	主要用于管类回转体铸件 铁型内腔表面采用离心铸造用覆膜砂，与铸件接触表面为细砂（70/140筛号），外层为粗砂（50/100筛号）
5	铁型覆砂工艺	干态覆膜砂	一般用于生产凸轮轴、曲轴类铸件。基本工艺：利用射芯在加热的铁型上填上一层覆膜砂，以形成精密的型腔来生产铸件

4. 覆膜砂常见缺陷及解决方案（见表4-81）

表4-81 覆膜砂常见缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	主 要 原 因	解 决 方 案
1	脱壳	芯盒温度不均匀,使低温部位强度偏低而脱壳;覆膜砂熔点低,固化速度慢,热强度偏低;树脂和乌洛托品加入量高	改善模具设计,使温度分布均匀;选用熔点高、固化速度快、热强度高的树脂,加入提高固化速度的促硬剂
2	型芯表面疏松	射芯压力过高或过低,模具排气不畅,模具分型面间隙大而跑砂,覆膜砂流动性差或透气性差	选用合理射砂压力,改善排气系统,防止憋气;采用变形小的材料作芯盒;选用流动性和透气性好的覆膜砂
3	型(芯)变形、断裂	模具受热不均匀,或型芯壁厚差异大,造成冷却时收缩不一致;采用了固化收缩率大的树脂;接芯叉子变形或砂芯存放不平;覆膜砂高温性能差;浇注压力过大	改善模具结构,使温度分布均匀;采用成型托盘存放砂芯;采用固化收缩率小的树脂;采用耐高温低膨胀覆膜砂;改进浇注系统(采用无压式)
4	穿芯	砂芯局部强度低或疏松,结壳厚度薄	调整射砂压力;改善排气系统;改善模具结构,使温度分布均匀;选用熔点高、固化速度快、热强度高的树脂,加入提高固化速度的促硬剂
5	铸件气孔	型芯排气不畅;树脂砂发气量大或发气速度不合适;砂芯固化不彻底	改善排气系统,提高排气效果;选用粒形集中度高或较粗的原砂;采用低发气覆膜砂;采用比强度高的树脂,降低树脂用量
6	铸件粘砂	原砂 SiO_2 含量低;型芯表面不致密	调整射砂压力,改善芯盒排气效果,使砂芯表面更致密;采用耐高温覆膜砂或锆砂覆膜砂
7	铸件内部缩松	覆膜砂中的树脂在高温下燃烧产生热量,减缓了铁液的凝固速度,导致缩松	采用激冷类覆膜砂;在壳型芯内放置内冷铁
8	铸件表面不良	酚醛树脂在高温下生成的光亮碳漂浮在铁液表面,凝固时铸件表面产生皱皮	加入质量分数为2%左右氧化铁粉,采用热导率高的原砂;壳芯表面刷涂料;覆膜砂中添加特殊辅料

4.4.3 热芯盒砂

热芯盒法制芯，是用液态热固性树脂粘结剂和催化剂配制成的芯砂，吹射入加热到一定温度的芯盒内（热芯盒温度为180～250℃，温芯盒低于175℃），贴近芯盒表面的芯砂受热，其粘结剂在很短时间即可缩聚而硬化。而且，只要砂芯的表层有数毫米结成硬壳，即可自芯盒取出，中心部分的砂芯利用余热和硬化反应放出热量可自行硬化。

热芯盒砂工艺最适合汽车、拖拉机、柴油机行业大量流水生产中、小型砂芯。砂芯最大截面厚度≤50mm 可以得到经济高效的应用效果。如砂芯截面过厚可分块设计，而后粘合成中空砂芯。

1. 热芯盒砂原材料的选用

热芯盒原材料选用见表 4-82。

表 4-82　热芯盒原材料选用

序　　号	原材料	性 能 要 求
1	原砂(硅砂)	1）粒度:采用中粒度(筛号 50/100)0. 300mm、0. 212mm、0. 150mm 2）粒形:最好为圆形或椭圆形 3）w(泥分)＜1% 4）pH 值＜7(希望为中性或偏酸性) 5）原砂要充分干燥,砂温最好为 15 ~ 30℃
2	呋喃树脂	1）呋喃Ⅰ型:含氮量较高,是尿醛与糠醇的缩合物 2）呋喃Ⅱ型:基本不含氮,是酚醛与糠醇的缩合物 3）中氮树脂:如 ZNR-Ⅰ型中氮树脂,是尿醛、酚醛、糠醇三者的缩合物 可根据铸件对含氮量的要求进行选择。在保证铸件质量的前提下,选用成本较低的树脂
3	固化剂	1）呋喃Ⅰ型树脂用的固化剂:氯化铵,或氯化铵与尿素的水溶液 2）呋喃Ⅱ型树脂用的固化剂:苯磺酸,或对甲苯磺酸的水溶液 3）尿醛、酚醛、糠醇三者的缩合物的固化剂:氯化铵∶尿素∶水 = 1∶3∶3 配制的固化剂
4	添加剂	常用添加剂及其作用: 1）氧化铁粉(Fe_2O_3):作用是减少气孔,减少渗碳,改善砂芯导热性 2）硼砂:减少气孔,但易增加吸湿性 3）硅烷:增加强度 4）三氯化铁:低温时加快硬化速度,但加入量过多会使树脂砂流动性变坏 5）尿素:消除游离甲醛的刺激气味。常温下中和氯化铵的酸性

2. 热芯盒砂的配方、混砂工艺

（1）热芯盒砂的典型配方（见表 4-83）

表 4-83　热芯盒砂的典型配方

序号	配比(质量比)							抗拉强度/MPa	混砂时间/min		应用案例
	原砂[①]	树脂		固化剂		氧化铁粉	水		干混	湿混	
		型号	用量	类别	占树脂重量(%)						
1	100	呋喃Ⅰ型	2. 5	氯化铵尿素水溶液	5	0. 25	0. 15 ~ 0. 30	＞2. 8	1	2	小芯

（续）

序号	配比（质量比）							抗拉强度/MPa	混砂时间/min		应用案例
	原砂①	树脂		固化剂		氧化铁粉	水		干混	湿混	
		型号	用量	类别	占树脂重量（%）						
2	100	呋喃Ⅰ型	2.3	氯化铵尿素水溶液	5	0.25	0.15～0.30	>2.5	1	2	中芯
3	100	呋喃Ⅱ型	3.0	苯磺酸水溶液	>6	—	—	>2.5	1	2	弯管芯
4	100	ZNR—Ⅰ型中氮树脂	2.5～3.0	氯化铵尿素水溶液	20	0.15～0.20	—	>2.0	1	2	缸筒芯
5	100	FO3 型低氮树脂	2.7～3.0	对甲苯磺酸水溶液	15	硅烷 KH-550 占树脂重 0.5		>2.0	1	2	缸体水套芯
6	100	呋喃Ⅰ型	2.5	氯化铵尿素水溶液	20	0.25	酒精 0～0.5	—	1.5～2	2.5～3.5	小芯
7	100	DR-2 型低成本树脂	2.5	氯化铵尿素水溶液	20	0.15～0.20	—	>2.5	1	2	中、小芯
8	100	GS23-1 型高强度树脂	1.5	铜盐水溶液	27	0.05	—	>3.5	1	2	水套，制动片等

① 原砂的粒度（筛号）为 50/100，粒形最好为圆形或椭圆形，w（泥）<1%，砂的 pH 值希望呈中性或偏酸性，砂温最好为 15～30℃。

（2）混砂工艺（见表 4-84）

表 4-84　热芯盒呋喃树脂砂的混砂工艺

设　　备	各类混砂机均可使用
混砂工艺	原砂+氧化铁粉 $\xrightarrow[20\sim30s]{干混}$ 固化剂 $\xrightarrow[60s]{湿混}$ +树脂 $\xrightarrow[60s]{湿混}$ 出碾
要求	无论采用哪种混砂机混砂，在树脂混拌均匀后，要立即出砂

3. 热芯盒砂的常见缺陷及解决方案（见表 4-85）

表 4-85　热芯盒砂的常见缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	产 生 原 因	解 决 方 案
1	砂芯强度低	砂芯强度低	①增加树脂加入量；②改用高强度树脂；③注意砂子存放时防潮，并缩短存放期；④树脂中加入偶联剂
2	铸件气孔	树脂发气量大，或含氮量高	①采用高强度树脂；②选用低氮或无氮树脂；③砂芯表面刷涂料；④适当降低浇注温度，缩短浇注时间；⑤必要时，可加入原砂重量 0.15%～0.25% 的氧化铁粉或硼砂；⑥砂芯通气孔要畅通

（续）

序号	缺陷名称	产 生 原 因	解 决 方 案
3	铸件粘砂	砂子耐火度不够，或砂粒片粗，砂芯紧实度不够	①选用耐火度较高的砂子；②采用较细的砂子；③砂芯表面刷涂料；④采用粘度低的树脂；⑤增加射砂压力；⑥调整通气塞的位置，或增加数量
4	渗碳	铸钢件有时会产生渗碳缺陷	可添加占原砂重量 0.3% ～0.6% 的 Fe_2O_3，Fe_2O_3 高温下还原析出氧，能防止渗碳

4.4.4　冷芯盒砂

冷芯盒树脂砂制芯工艺是将混合好的树脂砂，射（吹）入芯盒中，然后，用吹气设备吹入气体固化剂，砂芯在常温下快速固化，通过吹干燥清洁的压缩空气，冲洗净化砂芯中的残余固化剂后，即可出芯。出芯后，可以立即下芯、合型、浇注，以减少砂芯储存时间。

冷芯盒工艺是一种节能、低污染、高效的造型、制芯工艺，有逐步取代热芯盒的趋势。此工艺适用于中、小批量多品种的机械化生产。

常用冷芯盒制芯工艺按气体固化剂不同，分为四种：三乙胺法、SO_2 法、酯硬化法、CO_2 硬化法。

1. 三乙胺法冷芯盒砂

三乙胺法冷芯盒砂广泛用于汽车、拖拉机铸件的生产。但是应注意，有人对粘结剂过敏，不要与之直接接触，以免患皮炎病。

使用的粘结剂为双组分，组分Ⅰ是液态酚醛树脂，组分Ⅱ是聚异氰酸酯。两组分按 1∶1 的比例加入到原砂中，混匀后吹（射）入芯盒，然后吹入三乙胺，芯砂可在数秒或十几秒内硬化。三乙胺在常温下为液态，需经汽化处理，一般是预热至 35～50℃，然后以氮气为载体，将三乙胺稀释汽化。砂芯在芯盒内经吹三乙胺硬化后，还需用干燥的空气将砂芯中剩余的三乙胺吹净，然后取出砂芯，既可使用。

（1）原材料

1）原砂—擦洗（或精选）硅砂，锆砂、铬铁矿砂等。

2）粘结剂—冷芯盒树脂。由组分Ⅰ（液态酚醛树脂）和组分Ⅱ（聚异氰酸酯）组成。

3）固化剂—三乙胺（TEA）。

4）载送气体—氮气，或冷冻除湿处理的压缩空气。

（2）三乙胺法冷芯盒砂的配比及混砂工艺（见表 4-86）

表 4-86　三乙胺法冷芯盒砂的配比及混砂工艺

铸件	配比（质量分数，%）				高速刮板式混砂机混砂工艺
	原砂（硅砂）	冷芯盒树脂		硅烷（占树脂重量）	
		组分Ⅰ∶组分Ⅱ	加入量（占原砂重量）		
铸钢件	100	6∶4	1.5	0.3	原砂＋组分Ⅰ→混合 10s→＋组分Ⅱ→混合 60s→卸砂
铝铸件	100	1∶1	1.0	—	

（3）三乙胺冷芯盒法制芯工艺

1）芯盒表面喷涂冷芯盒专用脱模剂，以表面见湿为宜。不能采用乳液脱模剂。

2）射砂压力0.3～0.55MPa。

3）射砂时间3～5s。

4）吹三乙胺时间与吹三乙胺量，可根据砂芯形状与大小确定。一般低压吹三乙胺4～10s，高压吹三乙胺5～15s。

5）吹压缩空气净化时间10～20s。

（4）三乙胺冷芯盒砂的常见缺陷及解决方案（见表4-87）

表4-87 三乙胺冷芯盒砂的常见缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	产生原因	解决方案
1	砂芯强度低	1）树脂强度低 2）树脂加入量少 3）原砂干燥不充分和载送三乙胺的氮气及冲洗残留三乙胺用的压缩空气含水 4）砂芯存放时间长，存放场地环境湿度大	1）采用质量好的树脂 2）增加树脂加入量 3）原砂及其他材料应充分干燥 4）缩短存放期及改变存放条件
2	铸件表面有光亮碳或皱皮	树脂在浇注时受热分解产生碳化氢，碳化氢进一步分解生成碳与氢，碳沉积在铸件表面，造成铸件缺陷	1）降低树脂加入量 2）提高浇注温度，缩短浇注时间 3）改善砂芯的排气条件 4）芯砂中加入适量的氧化铁粉
3	铸件气孔	树脂加入量过高，特别是组分Ⅱ加入量高	1）减少树脂加入量 2）在芯砂中加入占原砂重量0.25%的氧化铁粉
4	铸件表面粘砂	原因与热芯盒砂相同	解决方案与热芯盒砂相同

2. SO_2 法冷芯盒砂

SO_2 法冷芯盒砂已用于泵类、液压件、汽油机及柴油机等铸铁、铸钢及非铁合金铸件的生产。但是 SO_2 有臭味，空气中含量达到 1×10^{-6} 时即可感觉到，因此整个系统必须严加密封，不能泄露。

（1）原材料

1）原砂——硅砂（擦洗砂或精选砂）。

2）粘结剂——酚醛或呋喃型冷硬树脂。最常用的是低水无氮树脂，或低氮呋喃树脂。

3）过氧化物（活化剂）——有两类：一类是无机过氧化物，如质量分数为35%的过氧化氢；另一类是有机过氧化物，如过氧化丁酮（MEKP）。

4）固化剂——工业纯 SO_2 气体。它是一种无色、有刺激气味、不易燃的气体，在温度25℃，压力为0.245MPa时就液化，通常以液态并用密封容器盛装供应。使用

时用氮气或干燥空气从容器中将 SO_2 气体带出。

（2）SO_2 法冷芯盒砂配比及混制工艺（见表 4-88）

表 4-88　SO_2 法冷芯盒砂配比及混制工艺

配比（质量分数，%）				混制工艺（碾轮式混砂机）
原砂	树脂（占原砂重量）	过氧化物（质量分数为 50% 的过氧化氢或 MEKP）（占树脂重量）	增强剂 硅烷（如 KH-550）（占树脂重量）	
100	1.0～1.5	25～50	0.3	砂＋树脂→混合 1.5～3min→＋过氧化物→混合 1.5min→卸砂

注：SO_2 法树脂砂可存放 8h 以上。超过存放期的芯砂，再加适量的过氧化物仍可继续使用。

（3）硬化工艺

1）大量流水生产——采用具有吹气硬化系统的专用制芯设备，将芯砂射入芯盒，吹入 SO_2 气体，吹入时间在 1s 左右，然后用干燥微热的洁净空气吹净残留的 SO_2 气体（约 10s），生产节奏很快。

2）单件、小批或大芯生产——用一间密闭的气硬室，将砂芯紧实成型后至于该室内，先抽出部分空气造成负压，再向室内吹入 SO_2 气体 1～2s，最后用干燥微热的洁净空气清除残留的 SO_2 气体，这个过程约需 15s。

（4）SO_2 法冷芯盒砂可能产生的缺陷及解决方案（见表 4-89）

表 4-89　SO_2 法冷芯盒砂可能产生的缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	产生原因	解决方案
1	SO_2 的污染及腐蚀	SO_2 有刺激性气味，是二级无机酸性腐蚀品	1）与之接触的机械需用不锈钢制造，输送管道用不锈钢或塑料制造 2）芯盒及管道要密封可靠 3）将制芯设备封闭，并装通风系统
2	芯盒积垢	SO_2 法的芯盒特别容易积垢，不易清理	1）用二硫化钼润滑脂处理芯盒 2）用稀醋酸定期清洗芯盒 3）芯盒材质选用铸铁和锌合金
3	球墨铸铁吸硫	浇注球墨铸铁件时会从砂芯表面吸硫，影响球化效果	砂芯刷水基石墨涂料

3. 酯硬化树脂砂

酯硬化树脂砂（冷芯盒砂）工艺，是采用一种水溶性碱性甲基酚醛树脂与原砂混合后，吹入甲酸甲酯雾气，使砂芯硬化。酯硬化冷芯盒砂具有基本不污染环境，工艺装备简化，树脂、固化剂有害成分少的特点，可用于大批量和中等复杂程度砂芯的生产。

1）粘结剂——甲酸甲酯硬化酚醛树脂（简称酯硬化树脂）。

2）酯硬化冷芯盒砂的配比及性能见表4-90。

表4-90 酯硬化冷芯盒砂的配比及性能

原砂	酯硬化树脂(占原砂重量,%)	抗压强度/MPa
100	1.5～1.8 (1.5)	(4.9)

注：硬化剂甲酸甲酯要使用专用雾化器雾化，雾化时加温60℃左右，雾化压强0.2MPa。

4. CO_2 硬化冷芯盒砂

CO_2 硬化冷芯盒砂的突出优点是对人体和环境污染很小（低于其他冷芯盒制芯工艺）、残留 CO_2 气体不必冲洗、无尾气处理工序、廉价。缺点主要是常温强度低，需加粉状促硬剂。

（1）原材料

1）粘结剂——CO_2 硬化酚醛树脂（液态）、聚丙烯酸钠树脂（无色或淡黄色液态）。

2）固化剂——CO_2 气体。

3）促硬剂——灰白色粉末。

（2）CO_2 硬化冷芯盒砂的配比及混制工艺（见表4-91）

表4-91 CO_2 硬化冷芯盒砂的配比及混制工艺

种类	原砂	树脂	促硬剂	混砂工艺
碱性酚醛树脂砂的配比（质量比）	100	2.5～3.5	0.6～1.0	原砂+树脂→混碾1～min→+促硬剂→混碾1～2min→卸砂
聚丙烯酸钠树脂砂的配比（质量比）	100	3.5	$Ca(OH)_2$ 3.5×0.4	

4.4.5 树脂自硬砂

树脂自硬砂是指原砂（或再生砂）以合成树脂为粘结剂，在相应的固化剂作用下，在室温下自行硬化成型的一类型砂。树脂自硬砂特别适合于单件、小批量生产的铸铁、铸钢、非铁合金铸件的生产，在国内外应用十分广泛。树脂自硬砂主要有三类：酸自硬树脂砂、尿醛自硬树脂砂、酚醛-酯自硬树脂砂。

1. 酸自硬树脂砂（呋喃树脂自硬砂）

（1）原材料

1）呋喃树脂自硬砂的原砂：选用天然水洗砂或擦洗砂。

2）粘结剂——呋喃自硬树脂（JB/T 7526—2008）。铸钢件、球墨铸铁件选用含糠醇量高的无氮或低氮树脂。提示：树脂中游离甲醛产生刺激性气体、恶化劳动环境，应予控制。

3）固化剂——有机磺酸溶液（如对甲苯磺酸、二甲苯磺酸、苯酚磺酸等），它

适用于各种呋喃树脂。对甲苯磺酸以水溶液（酸∶水＝7∶3）或酒精溶液（酸∶酒精＝6.5∶3.5）形式应用；二甲苯磺酸性能更好。

4）添加剂——在配方中有时加入添加剂，目的是为了改善自硬砂某些性能。常用添加剂见表4-92。

表4-92　树脂自硬砂用添加剂

序号	名　　称	加入量 （占树脂重量，%）	作　　用
1	硅烷	0.1～0.3	偶联剂，提高强度，降低树脂加入量
2	氧化铁粉	1～1.5	防冲砂
3	氧化铁粉	3～5	防止气孔
4	甘油	0.2～0.4	增加砂型（芯）韧性
5	苯二甲酸二丁酯	≈0.2	增加砂型（芯）韧性
6	邻苯二甲酸二丁酯	≈0.2	增加砂型（芯）韧性

（2）呋喃树脂自硬砂的配比

1）铸铁件呋喃树脂自硬砂的基本配方见表4-93。

表4-93　铸铁件呋喃树脂自硬砂的基本配方

序号	配　　比		原材料性能要求（质量分数）
	原材料	加入量（质量分数，%）	
1	硅砂	100	含 SiO_2 量大于90%，含泥量小于0.2%～0.3%，粒度（筛号）：对大件为50/100和40/70，一般件为100/200和50/100。原砂温度在20～30℃为宜
2	呋喃树脂 （占原砂重量）	2～3	铸铁件用呋喃树脂为7501型、F70型
3	固化剂 （占树脂重量）	15～60	常用固化剂有两种：一是对甲苯磺酸酒精溶液（简称PT-SA），质量浓度为65%；二是苯磺酸酒精溶液（简称BSA），质量浓度为80%
4	偶联剂 （占树脂重量）	0.2～0.3	常用的是硅烷，增加强度

2）呋喃树脂自硬砂的配比见表4-94。

表4-94　呋喃树脂自硬砂的配比

编号	配比（质量比）					性　　能		用　　途
	新砂	旧砂	树脂 （占原砂重量，%）	固化剂 （占树脂重量，%）	硅烷 （占树脂重量，%）	24h 抗拉强度 /MPa	850℃ 发气量/ （mL/g）	
1	25（大林水洗砂）	75	0.8（中氮呋喃）	40（对甲苯磺酸）	0.1～0.3	>1.0	<10	10kg～16t各类机床铸铁件

（续）

<table>
<tr><th rowspan="2">编号</th><th colspan="5">配比（质量比）</th><th colspan="2">性 能</th><th rowspan="2">用 途</th></tr>
<tr><th>新砂</th><th>旧砂</th><th>树脂（占原砂重量，%）</th><th>固化剂（占树脂重量，%）</th><th>硅烷（占树脂重量，%）</th><th>24h 抗拉强度/MPa</th><th>850℃发气量/(mL/g)</th></tr>
<tr><td>2</td><td>5~10（晋江水洗砂）</td><td>95~90</td><td>1.0~1.2(型)
1.2~1.4(芯)
（低氮呋喃）</td><td>30~60(对甲苯磺酸)</td><td>0.1~0.3</td><td>0.6~0.8(型)
0.8~1.0(芯)
1.6~2.0(复杂芯)</td><td>10~11</td><td>机车铸铁件、球墨铸铁件</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td>20</td><td>80</td><td>1~1.5</td><td>30~45</td><td rowspan="2">0.2~0.3</td><td rowspan="2">≥0.98</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">摇枕、侧架等低合金铸钢件</td></tr>
<tr><td>100(大林水洗砂)</td><td>—</td><td>1~1.2</td><td>30~50</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td>100</td><td>0</td><td>0.7~0.75(芯)</td><td rowspan="2">30~36</td><td rowspan="2">0.2~0.3</td><td>1.6~1.8</td><td rowspan="2">1.5~2.2①</td><td rowspan="2">各类不锈合金钢阀门</td></tr>
<tr><td>5(平谭砂)</td><td>95</td><td>0.85(型)</td><td>1.8~2.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td>芯100</td><td>0</td><td>1.3~1.5</td><td>40~60</td><td rowspan="2">0.25~0.3</td><td>≥0.8</td><td rowspan="2">10~12</td><td rowspan="2">电机座、端盖、套筒等25Mn钢件</td></tr>
<tr><td>型5~10</td><td>95~90</td><td>0.8~1.1</td><td>25~60</td><td>0.4~0.9</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td>大件无箱</td><td>100</td><td>1.3</td><td>30</td><td rowspan="2">0.1~0.3</td><td>0.5</td><td>1.5①</td><td>铸钢件，球墨铸铁件</td></tr>
<tr><td>中小件无箱</td><td>100</td><td>0.85~1.0</td><td>40</td><td>0.4~0.5</td><td>3.0①</td><td>灰铸铁件，球墨铸铁件</td></tr>
</table>

① 为灼烧减量（质量分数，%）。

（3）呋喃树脂自硬砂混砂工艺（见表4-95）

表4-95 呋喃树脂自硬砂混砂工艺

混砂设备	树脂砂混砂机有：S20系列间歇式混砂机、固定连续式混砂机和移动连续式混砂机 最好采用连续式混砂机
S206间歇式混砂机混砂工艺	原砂+固化剂→混20~25s→+树脂→混35~40s
间歇式混砂机混砂工艺	原砂+固化剂$\xrightarrow[30\sim60s]{\text{混拌均匀}}$+呋喃树脂$\xrightarrow[30\sim60s]{\text{混拌均匀}}$出碾
注意事项	1）为防止酸性固化剂灼伤皮肤，混砂过程要戴好手套 2）一定要使原砂和固化剂混合均匀后，再加树脂 3）混砂时间要控制好，以便确保使用时间 4）用多少混多少，过多时不能及时使用，造成浪费

（4）酸自硬树脂砂的常见缺陷及解决方案（见表4-96）

表 4-96　酸自硬树脂砂的常见缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	产 生 原 因	解 决 方 案
1	气孔	1）树脂或固化剂加入量过多，树脂含氮量过高，型（芯）未完全硬化就浇注，使发气量大 2）涂料质量不良，或干燥不充分，使型芯中残留水分过高 3）旧砂再生不良，微粉的灼烧减量超标使透气性降低，发气量增大 4）造型（芯）和合型操作不当，使通气道被堵塞，或砂芯出气不良 5）浇注系统设计不当，浇注速度过慢，压头过低，断流，使浇注系统未被金属液充满 6）金属冶炼质量欠佳，含氧量过高	1）将粘结剂、固化剂的加入量降到最低限度，选用低氮或无氮树脂，在型（芯）充分硬化后再浇注 2）严格控制涂料质量，严格涂料烘干工艺。醇基快干涂料溶剂中水质量分数不大于5%。保证涂料有足够的浓度。合型前用喷灯进行一次全面喷烘 3）严格控制再生砂的灼烧减量与微粉含量在规定的允许范围内 4）加强技术培训，严格工艺规程，保证型芯排气畅通 5）优化工艺方案设计，尤其应重视浇注系统及排气系统设计，浇注时控制好浇注速度，不能断流，浇注后及时点火引气 6）加强金属液脱氧，加入质量分数为0.05% Ti，形成 TiN，防止氮气孔析出
2	机械粘砂	1）原砂粒度太粗或分布过于集中，砂粒间间隙大 2）型（芯）砂流动性差，或使用超过可使用期的树脂砂，使型（芯）砂紧实度不够，表面安定性差 3）涂料耐火度不够，涂层太薄或施涂不当 4）金属液温度过高，静压头大	1）用细砂、粒度分布在四、五个筛号的原砂 2）提高型（芯）砂的流动性，保证型（芯）砂的充填紧实度和表面安定性；必要时在型砂中加入质量分数为0.5% ~2.0%氧化铁粉以减少孔隙率，提高热强度；对厚大铸钢件还可采用高温下产生固相烧结的铬铁矿砂，防止钢液渗透 3）保证涂料有足够的耐火度、厚度和渗入深度，严重受热的部位可涂双层或多层涂料 4）浇注温度不宜过高，尤其是对铸钢件
3	毛刺（脉纹、飞翅）	硅砂高温相变膨胀率（6%）大大超过涂层膨胀率（2%），将涂层拉裂，金属液沿缝隙渗入	1）采用反复会用的旧砂，可显著降低型砂的膨胀率 2）型砂中加入质量分数为1% ~2%的 Fe_2O_3 粉，可增加热塑性，减少膨胀率 3）适当降低浇注温度 4）使用热膨胀率小的锆砂、铬铁矿砂，减少脉纹缺陷产生

（续）

序号	缺陷名称	产生原因	解决方案
4	裂纹	1）呋喃树脂砂冷却速度慢，浇注后树脂焦化形成坚硬的碳化骨架，退让性差，使铸件收缩受阻 2）固化剂中的硫渗入铸件表层，使热强度下降，在热节缩孔部位形成裂纹源 3）铸钢件固-液相共存区宽，收缩率大，发生热裂的倾向最严重，尤其是结构复杂，壁厚差大和薄壁框形铸件在收缩阻力大的部分，最容易产生裂纹缺陷	1）提高型（芯）的退让性，如在型砂中添加质量分数为2%～3%的木粉等溃散剂；造型时在背砂中埋入泡沫塑料块，尽量减薄型（芯）的吃砂量，做空心芯 2）优化浇注系统设计，加强补缩，减少缩松缩孔引起的裂纹，合理使用冷铁和其他激冷措施或在易发生裂纹的部位用膨胀系数低、传热速度快的锆砂与铬铁矿砂代替硅砂 3）在易发生裂纹处设置防裂肋，在允许时加大圆角半径 4）采用具有屏蔽能力的涂料，防止型（芯）砂中的硫渗入铸件
5	渗碳、渗硫、球化不良	1）由于树脂碳化，低碳钢和低碳不锈钢铸件表面出现2～3mm的渗碳层 2）采用磺酸类固化剂时，在不锈钢或球墨铸铁件表层出现1～3mm的渗硫层，造成球化不良，铸件表面性能恶化	1）在砂型或涂料中添加适量氧化剂如氧化铁粉，采用屏蔽性强的涂料，加大涂层厚度，减少渗碳层深度 2）开发多种含强力脱硫剂的特种涂料，采用屏蔽性好的涂料。在球化处理时，适当增加一些球化剂用量
6	铸件尺寸精度超差	1）由于模样用木材未干燥透，含水量超标引起模样变形，或损坏后未及时修复 2）砂箱刚度不够，模板或砂箱定位不准或松动 3）工艺参数选择不当，如芯头间隙过大，收缩率选择不恰当 4）造型操作不当，如起模时间过早，型（芯）强度不够引起变形	1）制模木材经过充分干燥，控制含水率，发现模样破损必须及时修复 2）保证砂箱刚性，箱带可简化，但不能省掉；模板定位应始终保持准确 3）合理选择工艺参数，不要照搬粘土砂的工艺设计参数 4）起模不宜过早，起模后型（芯）安放平稳，防止变形

2. 酚醛尿烷自硬树脂砂

酚醛尿烷自硬树脂砂，简称Pep Set法。尿烷自硬树脂砂有三类：①酚醛尿烷自硬树脂砂；②醇酸油尿烷树脂砂；③多元醇尿烷树脂砂。这里介绍广泛应用的酚醛尿烷自硬树脂砂。

（1）粘结剂与固化剂

1）粘结剂——由三部分组成：组分Ⅰ（苯基醚酚醛树脂）、组分Ⅱ（聚异氰酸酯）、组分Ⅲ（液体叔胺固化剂）。组分Ⅰ中的羟基与组分Ⅱ中的异氰酸根在组分Ⅲ的催化作用下，发生加成缩合反应，生成尿烷聚合物，从而使砂型（芯）硬化。

2）固化剂——为一类特殊的胺类，使用时加入组分Ⅰ中。

（2）酚醛尿烷自硬树脂砂的配比

1）酚醛尿烷自硬树脂砂的典型配比见表4-97。

表4-97　酚醛尿烷自硬树脂砂的典型配比（质量比）

原砂	树脂		固化剂		混砂工艺
	组分Ⅰ	组分Ⅱ	组分Ⅲ		
	（占原砂重量,%）		牌号	（占组分Ⅰ重量，%）	
100	0.7～1.0	0.7～1.0	CP3595 CP3550 CP3500 CP3400	0.4～1.0 0.6～2.5 1.0～4.0 2.0～8.0	采用高效混砂机,生产线采用连续式混砂机 树脂和固化剂均加热保持在10～30℃,树脂齿轮泵定量精度为±2%,固化剂定量泵精度为±1%

注：原砂粒度：铸钢件用40/70筛号或40/70筛号与50/100筛号各半；铸铁件用50/100筛号或70/140筛号；非铁合金用70/140筛号或140/70筛号。原砂大都采用新砂：再生砂＝30∶70掺和使用。再生砂中w(微粉)≤0.8%，w(灼烧减量)≤3.0%，w(水分)≤0.2%。新砂和再生砂砂温，由砂温加热器和冷却器调节在20～30℃。

2）酚醛尿烷自硬树脂砂的应用案例见表4-98。

表4-98　东风汽车公司铸造一厂Pep Set自硬砂配比案例

产品名称	组分Ⅰ（占砂重量,%）	组分Ⅱ（占砂重量,%）	组分Ⅲ（占组分Ⅰ重量,%）	总加入量（占砂重量,%）
EQ153缸盖	0.7～0.8	0.6～0.7	1～2	1.3～1.5
EQ153凸轮轴	0.5～0.6	0.4～0.5	3～4	0.9～1.1

（3）酚醛尿烷自硬树脂砂工艺的常见缺陷及解决方案（见表4-99）

表4-99　酚醛尿烷自硬树脂砂工艺的常见缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	产生原因	解决方案
1	型(芯)砂硬化不良	1）各组分定量不正确,固化剂加入量太低 2）水分超过限度 3）砂温、芯盒温度太低	1）对各组分加入量进行校对,确认三个泵处于正常工作状况 2）检查原砂水分并严格控制在规定范围内 3）应提高砂温和芯盒温度
2	型(芯)砂可使用时间短	砂温高,固化剂过量,混砂时间过长	确定主要原因后,采取相应对策
3	型(芯)易破碎,废损大	树脂加入量太少,固化剂用量过大,砂温太高或砂中粉尘太多	应采取相应对策

（续）

序号	缺陷名称	产 生 原 因	解 决 方 案
4	气孔	组分Ⅰ含有氨酸基，氮的质量分数达6.0% ~7.6%，是氮气孔的来源	1）应尽量降低树脂加入量，降低组分Ⅱ的比例，将组分Ⅰ∶组分Ⅱ调整到55∶45，或60∶40 2）混合料中加入氧化铁（质量分数为铸铁件0.25% ~2.0%，铸钢件2% ~3%）
5	表面光亮碳缺陷	粘结剂分解放出碳氢化合物，再分解为碳沉积在铸件表面形成“皱纹”、“折叠”缺陷	解决方案是提高浇注温度，缩短浇注时间，加强排气，加入氧化铁，采用溢流冒口排除沉积物
6	脉纹、粘砂	组分Ⅱ过多，浇温过高，浇速过快，型（芯）紧实不充分	采用相应对策并加入质量分数为1% ~3%的氧化铁粉

3. 酯固化碱性酚醛树脂砂

酯固化碱性酚醛树脂砂（简称 α-Set 法），除具有一般树脂砂所具有的溃散性好、硬化速度快、可使用时间能在较大范围内调整外，还具有高温性能好、对原砂的适应性广、对铸造合金的适应性强、混砂和浇注时不放出刺激性气味、有利于环保等特点。

酯固化碱性酚醛树脂砂特别适用于水泵、阀门、化工设备、核工业设备等铸钢件的生产。

（1）原材料

1）原砂——擦洗硅砂、水洗镁橄榄石砂、铬铁矿砂。

2）粘结剂和固化剂。①粘结剂——碱性酚醛树脂；②固化剂——碱性酚醛用有机酯。

（2）配比及混砂工艺（见表4-100）

表4-100 酯固化碱性酚醛树脂砂的配比及混砂工艺

原砂	粘结剂（占原砂重量，%）	固化剂（占树脂重量，%）	混 砂 工 艺	备 注
100	1.5 ~2.5	20 ~30	1）中小型芯采用碗形混砂机；较大型芯和造型采用连续式混砂机 2）原砂 + 酯固化剂混匀 + 树脂混匀卸砂	砂温控制在20 ~30℃

（3）应用案例 上海汽轮机公司600MW汽轮机主调阀门阀壳的铸造。

技术要求：铸件材质为低合金铬钼钢。外形尺寸为2524mm×1529mm×1250mm，壁厚最大为350mm，最小为115mm。铸件毛重16500kg，浇注总重量为27500kg。工作状态下承受高压过热蒸汽，铸件内外表面需磁粉探伤。需进行泵水试验，泵水压力35MPa，保压时间10min。

造型：面砂为碱性酚醛树脂锆英砂，厚10 ~20mm。填充砂为碱性酚醛树脂硅砂。涂料为醇基锆英粉涂料，刷上3 ~4遍。合型后经100 ~150℃热风风干5h。

浇注工艺：浇注温度为1575 ~1595℃，浇注时间为150 ~180s，点浇冒口180s。

效果：获得优质铸件，取代进口铸件。

4.5　油砂

铸造生产中，对一些不加工内腔、形状复杂、断面细薄、要求强度和溃散性好的砂芯，常采用以油为粘结剂的芯砂，简称油砂。

4.5.1　粘结剂——油类

油类粘结剂是制造复杂砂芯的主要粘结剂之一。按来源可分为植物油、矿物油两类。

1. 植物油

植物油的主要技术指标见表4-101。

表4-101　植物油粘结剂的主要技术指标

粘结剂名称	密度/(g/cm³)	粘度/s	碘值(韦氏法)	皂化值/(mgKOH/g)	酸值/(mgKOH/g)	工艺试样干拉强度/MPa	油状液体特征
桐油	0.9360～0.9395	—	163～173	190～195	—	≥2.0	浅色
亚麻籽油	0.9260～0.9365	—	≥175	188～195	—	≥2.0	深琥珀色，有特殊气味
改性米糠油	0.9350～0.948	70～100	—	—	<10	≥1.6	棕黄色
塔油	—	80～150	—	—	<40	≥2.0	黄色

2. 矿物油

铸造生产用矿物油粘结剂有：合脂、渣油等。

（1）合脂　合脂是以石蜡为原料制取合成脂肪酸的残渣，以适量溶剂稀释配成的合脂粘结剂。合脂可代替桐油砂制作复杂的细薄砂芯，复杂程度达Ⅱ级、Ⅲ级及部分Ⅰ级。适于汽车、拖拉机、矿山车辆、石油机械等重要铸钢件上。铸造用合脂粘结剂的分级见表4-102。

表4-102　铸造用合脂粘结剂的分级

按粘度值分级		按干拉强度值分级	
等级代号	粘度值(N-6,30℃)/s	等级代号	工艺试样干拉强度值/MPa
40	≥15～40	14	≥1.4
80	>40～80	17	≥1.7
120	>80～120		

注：合脂稀释剂有煤油和200号溶剂油，稀释比控制在粘度值达40～60s为宜。加入量（质量分数）一般为2%～4%。合脂砂特点：吸湿性小，干强度高，出砂性好；但湿强度低，流动性稍差于油砂；有粘模倾向。

铸造用合脂粘结剂的牌号

HZ—×××—××

- ××：工艺试样抗拉强度等级代号
- ×××：粘度值等级代号
- HZ：“合”与“脂”的汉语拼音第一个字母

示例：铸造用合脂粘结剂的粘度值为40s、抗拉强度值为1.5MPa时，牌号可表示为HZ-40-14。

（2）渣油 渣油粘结剂的性能指标见表4-103。

表4-103 渣油粘结剂的性能指标

项目 种类	溶剂含量(质量分数,%)	粘度(流杯 $-\phi6$,30℃)/s	工艺试样干拉强度/MPa
S61	≈30	40~80	≥1.6
S76	30~35	9~25	≥2.0

4.5.2 植物油芯砂

油砂具有干强度高、流动性好、不粘模性、出砂性好、抗粘砂性好、不吸湿等优点，故常采用油砂来制作形状复杂、断面细薄、内腔表面要求光洁及不容易清砂的砂芯。植物油芯砂用于制造一、二级砂芯。

1. 植物油芯砂的配比、性能和应用范围（见表4-104、表4-105）

表4-104 植物油芯砂的配比（质量比）

原砂	桐油	亚麻油	改性米糠油	膨润土	糊精	纸浆废液	200号溶剂油	糖浆	山芋粉	混砂工艺(两种)
100	2~2.5	—	—	2	2	—	—	—	—	1）砂子+粉状附加物干混1~3min，+水和液态附加物湿混1~3min，+油混4~10min,卸砂 2）砂子+水混2min+粉状附加物混4~5min，+油混2min+其他附加物混2min,卸砂
100	0.5	—	—	—	—	3	—	—	—	
100	—	2.5	1.6~1.8	—	—	—	0.25	—	—	
100	—	—	—	1~1.3	0.5	—	—	—	—	
100	3	—	—	4.5	1	—	—	2	0.4	
100	2.5	—	—	0.5	—	—	—	—	—	

注：原砂应选用圆形、杂质少、含泥量低、表面干净或水洗砂。粒度一般选用40/70、50/100和70/140。

表4-105 植物油芯砂的性能及使用范围

铸件	性能				使用范围
	含水量(质量分数,%)	透气性	湿压强度/kPa	干拉强度/MPa	
铸铁件	3.2~3.8	>100(湿态)	14~18	1.3~1.7	柴油机V形砂芯
	1.5	>90(干态)	7~14	0.9~1.5	内燃机排气管砂芯

（续）

铸　件	性　能				使用范围
	含水量（质量分数,%）	透气性	湿压强度/kPa	干拉强度/MPa	
铸铁件	—	80（湿态）	3.5～4.5	3.0～3.3	气缸体水套砂芯
	<2	>146	20.5	1.1～1.5	发动机缸体砂芯
铸钢件	7～9	>80（湿态）	15～20	—	纺织机原盘砂芯
非铁合金铸件	2.9～4	100～200	20	—	汽轮机夹层砂芯

2. 桐油、亚麻油芯砂的配方和性能（见表4-106）

表4-106　桐油、亚麻油芯砂的配方和性能

原材料及配比		制芯方法			
		手工制芯		机器制芯	
配比（质量分数,%）	新砂（筛号50/100）	100	100	100	100
	桐油或亚麻油	2.5	2.5	2.5	2.5
	膨润土	—	0.5～1.0	—	—
	糊精或淀粉	1.0～1.5		0.5～1.0	
	纸浆废液		1.0～1.5		1.5～2.0
	水	适量	适量	适量	适量
性能	w(水分)(%)	2.0～2.5	2.5～3.0	1.5～2.0	2.0～2.5
	透气性	>100	>100	>100	>100
	湿压强度/MPa	0.015～0.02	0.015～0.02	0.007～0.01	0.007～0.01
	干拉强度/MPa	1.6～2.0	1.6～2.0	1.6～2.0	1.6～2.0
使用范围		干强度高,湿强度低,制作形状复杂的砂芯		干强度高,湿强度低,制作形状复杂的砂芯	

4.5.3　合脂芯砂

合脂芯砂主要用来制造二、三级砂芯。

1. 原材料

（1）粘结剂——合脂　合成脂肪酸蒸馏残液（简称合脂），性能好，价格便宜，可做植物油的代用品，应用广泛。合脂在常温下为膏状，气温低时会结成固体，使用时必须加以稀释。常用稀释剂为煤油，煤油加入量为一般为合脂重量的44%～50%（夏天为33%～42%）。稀释方法是：将合脂加热到80～100℃熔融，然后加入煤油并充分搅拌，直至无沉淀不分层为止。

（2）附加物　目的是提高湿强度，有膨润土、糊精、纸浆废液、水。合脂粘度

大，为提高芯砂的流动性，必要时可加入0.5%～1%的植物油。

2. 合脂砂的配比和性能（见表4-107）

表4-107 合脂砂的配比和性能

铸件	配比(质量比)							性能				应用范围
	原砂	合脂	亚麻油	膨润土	糊精	工业油	山芋粉	w(水)(%)	湿透气性	湿压强度/kPa	干拉强度/MPa	
铸铁件	100	3.2～3.4	—	1.5	1.5	—	—	3～3.4	>110	13～14	1.3～1.7	柴油机铸铁件小砂芯
铸铁件	100	2	—	2	1	1.8	1	1.5～2.5	60～80	7～10	1.2	纺织机械铸铁件简单砂芯
铸铁件	100	1.5	0.5	(红砂2.5)	(糖浆0.6)	—	—	1～1.5	>110	3.5～5.5	1.1～1.4	铸铁气缸盖砂芯
铸钢件	100	4～4.5	—	—	1.2～1.4	—	—	2～3	>150	12～16	>1.2	铸钢件特殊要求砂芯
非铁合金铸件	100	2.5～3	—	—	2.5	—	—	2～3	—	—	—	消防器材非铁合金铸件砂芯

注：合脂砂的典型混制工艺：原砂+粉状附加物→混2～3min→+水和水溶性附加物→混2～3min→+合脂→混10min→卸砂。

4.5.4 改性渣油砂

铸造用的渣油是对石油分馏残渣经过改进后的一种棕黄色膏状物，其牌号有两个：S61和S76。在烘干温度下，渣油变成凝胶及半固态、固态的韧性粘结膜，使砂芯获得强度。渣油可有效代替包括植物油在内的其他油类粘结剂，而且成本低，可制作汽车、机械、液压件等的各类合金铸件的一级至三级砂芯。

1. 改性渣油砂的配比和性能（见表4-108）

表4-108 改性渣油砂的配比和性能

序号	配比(质量比)					性能				使用范围
	砂子	渣油		膨润土	糊精	含水量(质量分数,%)	湿透气性	湿压强度/MPa	干拉强度/MPa	
		牌号	加入量							
1	100	S61	6.5	—	2.5	1.6～1.8	120	19	1～1.6	柴油机缸盖砂芯
2	100	S76	4.6～4.8	3	1.5	4	100～150	15～30	1.3	纺织机械砂芯
3	100	S76	6.0	5	2	3.5～4.5	>100	20～30	干剪>0.7	浮筒锚链架铸钢件砂芯

注：1. 混砂工艺——原砂+粉状附加物→混2min→+水和液状附加物→混10～15min→+渣油混2～5min→卸砂。

2. 烘干硬化——烘干适度的渣油砂芯呈亮黑色或褐色，表面坚硬菱角清晰；呈暗黑色则烘烤过度；呈黄褐色则烘烤不足。若出现严重花斑，则因为烘烤过度而发生局部燃烧。

2. 油砂芯的烘干规范（见表 4-109）

表 4-109　油砂芯烘干规范

序　　号	类　　别	最适宜烘温/℃	烘干时间/h
1	桐油砂芯、亚麻油砂芯	200 ~ 220	1 ~ 2
2	合脂砂芯	210 ± 5（一般范围为 200 ~ 240）	2 ~ 4
3	改性渣油砂	230 ~ 250	1 ~ 2

4.6　特种砂型（芯）砂

4.6.1　石灰石型（芯）砂

石灰石砂多用于铸钢生产，具有溃散性好、容易落砂清理、能获得表面光洁铸钢件，并能消除职业硅肺病危害的特点。

1. 石灰石型（芯）砂的配方

（1）水玻璃石灰石型（芯）砂的配比及性能　见表 4-110。

表 4-110　水玻璃石灰石型（芯）砂的配比及性能

配比（质量比）						性　　能			用　　途
石灰石砂	水玻璃	粘土	膨润土	石墨	镁砂粉	含水量（质量分数，%）	湿压强度/kPa	干拉强度/MPa	
100	6 ~ 8.5	1 ~ 3	1 ~ 3	—	—	4 ~ 5.5	10 ~ 30	> 0.5	手工造型
100	6 ~ 7	—	—	—	—	3 ~ 4	5 ~ 15	> 0.9	射、挤压造型（芯）CO_2 硬化
100	6 ~ 8	3 ~ 5	—	—	—	3.5 ~ 4.5	10 ~ 20	> 0.7	机械（震实）造型起模后硬化
100	10	—	—	6	—	4.2 ~ 5.8	5 ~ 12	0.4 ~ 1.4	抗蚯裂石墨砂
100	8 ~ 9	—	—	2	7	5 ~ 5.5	10 ~ 30	干剪 > 0.35	抗厚大件缩沉，镁-碳质复合砂

注：水玻璃石灰石砂混砂工艺：①混砂机：S11 系列碾轮式混砂机。碾轮与底盘间间隙 40 ~ 70mm。②加料顺序：先加干料混匀，再加湿料混碾。一般加料顺序如下：石灰石原砂 + 粘土 + 石墨等粉状物→碳酸钠（或促硬剂）→水玻璃 + 水→柴油。③混碾时间：干混 1min，湿混 5 ~ 8min，即可卸砂。

（2）粘土石灰石干型砂、湿型砂的配方　见表 4-111。

表 4-111　粘土石灰石干型砂、湿型砂的配方

配比(质量比)				性　能			用　途
石灰石砂	粘土	膨润土	石墨	含水量(质量分数,%)	湿压强度/kPa	干拉强度/MPa	
100	6 ~ 8	0 ~ 3	—	4 ~ 6	40 ~ 80	—	手工造型、湿型
100	4 ~ 6	4 ~ 6	—	6 ~ 7.5	40 ~ 70	>0.15	手工造型、干型
100(30/50)	3.5 ~ 4	5 ~ 5.5	—	6 ~ 7	35 ~ 40	>0.3	手工造型、干型(高锰钢及碳钢)
100(20/50)	3.5 ~ 5	6 ~ 7.5	—	7.5 ~ 8	31 ~ 38	>0.3	手工造型、干型(碳钢及高锰钢)

2. 石灰石砂铸钢件的缺陷及解决方案（见表 4-112）

表 4-112　石灰石砂铸钢件的缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	原因分析	解决方案
1	缩沉(铸件鼓胀)	水玻璃石灰石砂浇注铸钢件的冷却过程可分为快速冷却和缓慢冷却两个阶段。先快($CaCO_3$ 分解吸热)后慢(铸件表面的铁及其氧化物的氧化放热)的冷凝过程,以及碳酸钙热解和氧化铁渣蚀 CaO 型壁,导致型壁位移,型腔扩大,这就是石灰石砂型的缩沉现象。与此同时,型壁与铸钢件表面间形成空间,刚凝固的铸件表层受内部钢液压力而向外“鼓胀”	氧化气氛强、铸件热塑变周期长,周围型壁移动,这是石灰石砂型铸钢件容易产生缩沉的原因 阻抑缩沉的对策相应是减少氧化、抑制氧化铁的渣蚀和强化冷却。为防止大型厚壁件的缩沉,可采用抗缩沉的镁-碳质复合石灰石砂
2	蚯蚓及内裂纹(蚯蚓是指铸件表面形成蚯蚓状突起和在该相应部位伴生下潜伏内裂纹的一种特殊缺陷)	型砂热解、砂型受热不均以及温度梯度使各层体积胀缩不一而导致型壁开裂;烧结物入侵,并在与钢液相互作用过程中形成蚯凸,富集晶界含 Ca、Si 的多元夹杂物或串珠状孔洞构成裂纹源,成为应力集中区;线收缩应力、热应力、缩沉和鼓胀应力以及孔洞内气体压力等同向应力叠加,导致内裂纹的形成而呈现石灰石砂特有的蚯裂缺陷	蚯裂须在应力集中区和足够大的应力下形成,凡能消减这两个条件的因素均有利于阻抑蚯裂产生。防蚯裂的措施有: 1)局部采用导热性较高的型砂,促使该处快凝,早建强度 2)防止型壁出现裂纹 3)减弱氧化气氛,尤其要避免不均匀二次氧化 4)防止型壁材料、夹杂物和气体侵入钢液 5)使钢液里夹杂物和气泡及时排除 6)尽量减小铸件冷凝过程中可能产生的应力 7)防止缩沉,改善铸件中的应力状态,减少或避免应力叠加

（续）

序号	缺陷名称	原因分析	解决方案
3	砂气孔	石灰石砂粒被卷入高温钢液，随即受热分解，转变成石灰和气体而形成砂气孔，其特征是气孔中有白色的石灰夹杂物	1）型砂需有足够的紧实率 2）合型前必须将型腔残砂清除干净 3）浇注系统设计必须保证钢液流动平稳，以免发生冲砂现象 4）铸件形状复杂的砂型，最好设置集渣（砂）槽
4	表层细长气孔	其主要特征是细长而不等径，口小而内腔大（如“卡腰”），气孔的长轴基本垂直于铸件表面，孔口常露出，孔的内表面覆盖着相对较厚的氧化层，孔口段发现颗粒状的含 Ca、Si 等多元氧化夹杂物，孔壁表层明显脱碳。细长气孔的形状随形于它周围晶粒的形态。这种气孔更易在中簿壁厚的石灰石砂铸钢件上出现，基本上属侵入性气孔	1）严格控制原砂质量，面砂粒度要适当，不宜偏粗；砂型壁面要光洁、致密，使气孔不易形成；同时提高和控制背砂透气性，改善通气条件 2）型砂中添加碳质材料（如石墨），延缓 $CaCO_3$ 热解，加快钢液冷却，减弱氧化和改变型壁形成气孔的条件 3）加入可挥发羟类物质，如加质量分数为 0.5% 的柴油等。高温下急剧吸热、挥发分解，使钢液快速冷却；挥发烟雾起热屏障作用，减缓石灰石砂热解速率；羟类物质呈还原性，能减弱氧化 4）刷涂料。增大界面热阻，阻挡 CO_2 进入钢液，阻隔渣蚀，使气泡难在型壁界面形成长大 5）控制钢液终脱氧的残铝量（质量分数为 0.08% ~0.15%），低温、快浇、稳流
5	麻坑	麻坑是位于铸件表面的一种冠状圆形凹坑。往往在刷涂一般的镁砂粉涂料的水玻璃石灰石砂型中，浇注壁厚较大的铸钢件时引起。铸件表面的非均匀氧化是造成麻坑的决定因素；反之，不上涂料时的较均匀氧化，一般就不形成麻坑。如果型砂粗颗粒较多，在与粗砂相应的铸件表面，由于局部过氧化，有时也会产生麻坑	1）提高涂料层的高温致密性 2）改良面砂，不上涂料 3）设计多孔、弥散的弱氧化性涂料层，例如使用添加石墨的镜质粘土族砂粉涂料可达到这种要求，其中石墨烧损后，在涂料的氧化铁中构成弥散的贯穿长孔 4）不上涂料的砂型，要防止型砂中混入粗颗粒原砂

4.6.2 锆砂型砂

1. 以锆砂为原砂的树脂砂配比及性能（见表 4-113）

表 4-113 原砂为锆砂的树脂砂配比及性能

序号	配比（质量比）				性能		
	锆砂	呋喃树脂	酚醛树脂	固化剂	湿压强度/kPa	干压强度/MPa	干拉强度/MPa
1	100	1	—	0.3 ~0.5	—	0.2(0.5h)	0.8(24h)
2	100	—	1.5	—	20 ~25	—	2 ~2.5

注：括号内数字表示试样打制后放置的时间。

2. 环保与卫生

1）锆砂的杂质中常含有微量放射性物质，故选用时应符合以下规定：

①锆砂中所含天然钍的放射性活度 $<7.4\times10^{3}$ Bq/kg。

②锆砂中所含天然铀的放射性活度 $<7.4\times10^{5}$ Bq/kg。

符合上述放射性活度的锆砂，在外部接触条件下，外照射对人体健康基本无影响，但应尽量防止引入体内。因此，使用时，应采取一定的防护措施，如包装好，专处存放，封闭车间或工段专用，操作人员工作时戴口罩，工作场所不吸烟，不进食，饭前便后和工作完毕要洗手，工作服要专用和常洗，也不要把工作服穿到公共场所或带回家。

2）锆砂中 P_2O_5 能间接反映放射性杂质的含量，当其 P_2O_5 的质量分数小于0.15%时，可以满足上述允许使用的放射性活度的限制要求。因此，选用锆砂时，应特别注意 P_2O_5 的含量越低越好。

3）使用锆砂的单位，应当把锆砂的放射性活度作为原材料检验的必检项目，送有关防疫站和环保部门检验。

4.6.3 铬铁矿砂型（芯）砂

以铬铁矿砂为原砂的型（芯）砂的配比及性能见表4-114。

表4-114 铬铁矿砂型（芯）砂的配比及性能

序号	配比(质量比)							性能			
	铬铁矿砂	粘土	糖浆	水玻璃	呋喃树脂	固化剂	有机酯	w(水)(%)	湿透气性	湿压强度/kPa	干拉强度/MPa
1	100	3~4	4~5	—	—	—		4~5	>70	30	—
2	100	2~3	—	6~8	—	Na(OH) 0~0.5	重油 0~0.5	4~5	>50	30~50	>0.8
3	100	—	—	6~8	—	—	—	4.5~6	40~90	17~30	—
4	100	—	—	2~2.5	1.8	—	0.2~0.25	—	—	干压强度/MPa 3.6(24h)	
5	100	—	—	—		0.9~1.1	—	—	—	—	0.9

注：对灼烧减量超标或久置的铬铁矿砂，在使用之前，要经900~1100℃煅烧，以免铸件产生气孔。

4.6.4 镁砂型砂

以镁砂为原砂的型砂配比及性能见表4-115。

表4-115 以镁砂为原砂的型砂配比及性能

序号	配比(质量比)					性能			
	镁砂	粘土	糖浆	合脂	卤水	w(水)(%)	湿透气性	湿压强度/kPa	干压强度/MPa
1	100	10~12	2~3	—	—	8~9	>100	60~70	>0.5
2	100	3~4	4~5	—	适量	8~9	>100	40~60	>0.5
3	100	10~12	—	2.5~3.0	—	8~10	>100	55~65	干拉>0.15

注：镁砂要防潮，久置的铬铁矿砂在使用之前，需经900~1000℃煅烧。

4.6.5 橄榄石砂型砂

以橄榄石砂为原砂的型砂配比及性能见表4-116。

表 4-116　以橄榄石砂为原砂的型砂配比及性能

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th colspan="4">配比(质量比)</th><th colspan="4">性　能</th></tr>
<tr><th>橄榄石砂</th><th>水玻璃</th><th>赤泥</th><th>水</th><th>w(水)(%)</th><th>湿透气性</th><th>湿压强度/kPa</th><th>干剪强度/MPa</th></tr>
<tr><td>1</td><td>100</td><td>6</td><td>—</td><td>1</td><td>4.4</td><td>37</td><td>34</td><td>≥1.0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>100</td><td>7</td><td>1.5</td><td>1</td><td>4.4</td><td>33</td><td>19</td><td>0.54(24h)</td></tr>
</table>

注：对灼烧减量超标或久置的橄榄石砂，在使用之前，要经 900～1100℃煅烧，以免铸件产生气孔。

4.7　涂料

覆盖在型腔和型芯表面，以改善其表面耐火性、化学稳定性、抗金属冲刷性、抗粘砂性和抗粘型性等性能的铸造辅助材料，统称铸型涂料。其中，用以提高砂型（芯）表面抗粘砂和抗金属液冲刷等性能的铸型涂料，称为砂型涂料（简称涂料）。

4.7.1　砂型铸造用涂料技术标准

1. 涂料的分类、代号与牌号表示方法（表 4-117）

表 4-117　涂料的分类、代号与牌号（JB/T 9226—2008）

<table>
<tr><th>分 类 方 法</th><th colspan="2">分类及代号</th><th>涂料牌号的表示方法与案例</th></tr>
<tr><td rowspan="2">按稀释溶剂分类</td><td>水基涂料</td><td>S</td><td rowspan="19">涂料牌号表示方法如下
×　×—××
耐火粉料分类代号
物理状态分类代号
溶剂分类代号
举例
1）水基膏状锆英粉涂料:SG—GY
2）有机溶剂粉状石墨涂料:YF—SM</td></tr>
<tr><td>有机溶剂涂料</td><td>Y</td></tr>
<tr><td rowspan="3">按涂料物理状态分类</td><td>浆状涂料</td><td>J</td></tr>
<tr><td>膏状涂料</td><td>G</td></tr>
<tr><td>粉状涂料</td><td>F</td></tr>
<tr><td rowspan="10">按主要耐火材料分类(主要耐火材料指占骨料总质量分数在 50% 以上的耐火材料)</td><td>石墨粉</td><td>SM</td></tr>
<tr><td>滑石粉</td><td>H</td></tr>
<tr><td>精制石英粉</td><td>JS</td></tr>
<tr><td>高铝矾土粉</td><td>GL</td></tr>
<tr><td>棕刚玉粉</td><td>Z</td></tr>
<tr><td>锆英粉</td><td>GY</td></tr>
<tr><td>镁砂粉</td><td>M</td></tr>
<tr><td>镁橄榄石粉</td><td>MG</td></tr>
<tr><td>铬铁矿粉</td><td>GK</td></tr>
<tr><td>其他</td><td>Q</td></tr>
<tr><td rowspan="4">按施涂方法分类</td><td>刷涂涂料</td><td rowspan="4">—</td></tr>
<tr><td>喷涂涂料</td></tr>
<tr><td>流涂涂料</td></tr>
<tr><td>浸涂涂料</td></tr>
</table>

注：1. 溶剂的质量分数大于 30% 的涂料规定为浆状涂料；溶剂的质量分数 10% ～30% 的涂料规定为膏状涂料；不含溶剂的涂料为粉状涂料。

2. 膏状涂料和浆状涂料包装在塑料桶或金属桶内（桶内衬聚乙烯薄膜的包装袋），装料后，包装桶应密封。石墨粉等粉状涂料应包装在外层为聚丙烯编织袋、内衬为聚乙烯薄膜袋中。装袋后封好袋口。包装容器上，应标记生产厂名称、产品名称、牌号、批号、生产日期、净重等，并附有质量证明书。在运输和储存过程中应防止受潮变质。有机溶剂膏状和浆状涂料存放温度不应超过 45℃，严禁靠近火源。储存保质期自制造日计起，浆状涂料、膏状涂料为 6 个月（镁砂粉涂料除外），粉状涂料为 12 个月。

2. 涂料的性能指标

涂料质量是保证铸件表面质量的重要技术措施。因此，目测涂料不得有可见的杂质。涂料在使用前应搅拌均匀。浆状涂料的性能指标应符合表4-118的规定。

表4-118 浆状涂料的性能指标（JB/T 9226—2008）

类别	牌号	性能指标：涂料密度/(g/cm³)	涂料条件粘度(ϕ6mm流杯)/s	放置6h涂料悬浮率(%)	放置24h涂料悬浮率(%)	发气量/(mL/g)	涂层耐磨性(64r)/g	涂敷、烘干、冷却后涂层外观	高温爆热裂纹等级①
水基浆状涂料	SJ—SM	1.28~1.8	5.5~10	≥96	≥93	<45	<0.5	无裂纹的均匀涂层	Ⅰ~Ⅱ级
	SJ—H	1.35~1.45	5.5~10	≥96	≥93	<50	<0.5		
	SJ—JS	1.60~1.80	5.5~10	≥96	≥93	<20	<0.5		
	SJ—GL	1.50~1.80	5.5~10	≥96	≥93	<20	<0.5		
	SJ—Z	1.80~2.40	5.5~10	≥96	≥93	<20	<0.5		
	SJ—GY	1.80~2.40	5.5~10	≥96	≥93	<20	<0.5		
	SJ—M	1.50~1.80	5.5~10	≥96	≥93	<20	<0.5		
	SJ—MG	1.50~1.80	5.5~10	≥96	≥93	<20	<0.5		
	SJ—GK	1.80~1.90	5.5~10	≥96	≥93	<20	<0.5		
有机溶剂浆状涂料	牌号	性能指标：涂料密度/(g/cm³)	涂料条件粘度(ϕ6mm流杯)/s	放置2h涂料悬浮率(%)	放置24h涂料悬浮率(%)	发气量/(mL/g)	涂层耐磨性(64r)/g	涂敷、烘干、冷却后涂层外观	高温爆热裂纹等级
	YJ—SM	1.18~1.60	5.5~12	≥95	≥90	<45	<0.5	无裂纹的均匀涂层	Ⅰ~Ⅱ级
	YJ—H	1.25~1.35	5.5~12	≥95	≥90	<50	<0.5		
	YJ—JS	1.40~1.60	5.5~12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ—GL	1.40~1.60	5.5~12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ—Z	1.60~2.20	5.5~12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ—GY	1.60~2.20	5.5~12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ—M	1.40~1.60	5.5~12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ—MG	1.40~1.60	5.5~12	≥95	≥90	<20	<0.5		
	YJ—GK	1.80~1.90	5.5~12	≥95	≥90	<20	<0.5		

注：水基膏状涂料和水基粉状涂料的各种性能指标，需用水稀释成浆状涂料后测定。有机溶剂膏状涂料和有机溶剂粉状涂料的各种性能指标，需用有机溶剂稀释成浆状涂料后测定。

① Ⅰ级—表面光滑无裂纹，或只有极少微小的裂纹，涂层与基体试样间无剥落现象；Ⅱ级—表面有树枝状或网状微小裂纹，裂纹宽度小于0.5mm，涂层与基体试样间无剥落现象；Ⅲ级—表面有树枝状或网状裂纹，裂纹宽度小于1mm，裂纹较深，沿横向（水平圆周方向）或纵向无贯通性裂纹，涂层与基体试样间无剥落现象；Ⅳ级—表面有树枝状或网状裂纹，裂纹宽度大于1mm，横向或纵向有贯通性裂纹，涂层与基体试样间无剥落现象。

3. 砂型铸造用涂料推荐应用范围（表 4-119）

表 4-119　砂型铸造用涂料推荐应用范围（JB/T 9226—2008）

铸件材质和特点		砂型砂芯用涂料的牌号	
		水基浆状(SJ)涂料	有机溶剂浆状(YJ)涂料
铸钢件	锰钢铸件	SJ—Z、SJ—M、SJ—MG	YJ—Z、YJ—M、YJ—MG
	碳钢、合金钢铸件	SJ—Z、SJ—GY、SJ—GK	YJ—Z、YJ—GY、YJ—GK
	中、小型碳钢铸件	SJ—JS、SJ—GL	YJ—JS、YJ—GL
铸铁件	大型铸铁件	SJ—Z、SJ—GY	YJ—Z、YJ—GY
	大、中型铸铁件	SJ—JS、SJ—GL、SJ—SM	YJ—JS、YJ—GL、YJ—SM
非铁金属铸件		SJ—SM、SJ—H	YJ—SM、YJ—H

注：膏状涂料和粉状涂料需用溶剂稀释成浆状涂料后使用，此表只列出浆状涂料。膏状涂料和粉状涂料同样适用。

4.7.2　铸钢件砂型用涂料

1. 铸钢件用水基涂料

（1）铸钢件水玻璃砂型用水基涂料（见表 4-120）

表 4-120　铸钢件水玻璃砂型用水基涂料的配比（质量比）案例

序号	耐火填料		膨润土	CMC	硅溶胶	海藻酸钠	聚乙烯醇	聚醋酸乙烯乳液	水溶性酚醛树脂	乌洛托品(占树脂量,%)	水玻璃	其他
1	高铝钒土粉	100	1	0.5～1	3.5～4	—	2	—	3.5～4	15	1	
2	刚玉粉	100	2	0.1	—	0.2	2	3～4	—	—	—	
3	铬铁矿粉	100	2	0.1	—	0.1	—	—	—	—	1.5	
4	镁砂粉	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$BaCl_2$ 2.5
5		100	—	0.2	—	1	—	凹凸棒土 1.5		—	—	糊精 1.5
6	锆英粉	100	2	0.1	—	0.2	—	3～4	—	—	—	—

注：水均为适量。

（2）铸钢件树脂砂型用水基涂料（见表 4-121）

表 4-121　铸钢件树脂砂型用水基涂料配比（质量比）案例

序号	耐火填料		膨润土	CMC	聚醋酸乙烯乳液	硅溶胶	水溶性酚醛树脂	乌洛托品（占树脂重量,%）	活性剂	渗透剂	分散剂	煤焦油
1	硅石粉	100	2	0.5～1	2～3	—	—	—	—	—	—	—
2	刚玉粉	100	1～5	0.15～0.5	—	3～10	3～7	10～20	适量	0～2	0.1～1	—

（续）

序号	耐火填料		膨润土	CMC	聚醋酸乙烯乳液	硅溶胶	水溶性酚醛树脂	乌洛托品（占树脂重量,%）	活性剂	渗透剂	分散剂	煤焦油
3	锆英粉	100	2	—	—	糖浆3		—	—	—	—	1.5
4		100	2~3	0.1~0.5	—	3~7	—	—	0.01~0.2	0.5	干性油0.5~2	

（3）铸钢件粘土砂干型用水基涂料（见表4-122）

表4-122 铸钢件粘土砂干型用水基涂料配比（质量比）案例

序号	耐火填料		膨润土	糖浆	CMC	聚醋酸乙烯乳液	酚醛树脂	乌洛托品	硅溶胶	水	其他
1	硅石粉	100	2~3	6~8	—	—	—	—	—	适量	—
2		100	2~3	3~4	0.3~0.5	—	—	—	—		煤焦油3~4
3	硅石粉 高铝矾土粉	40 60	3.5	—	0.2	—					凹凸棒粉2
4	高铝矾土粉	100	2	3.5	—	—	—	—	—		水柏油1.7
5	刚玉粉	100	2	—	—	4	—	—	—		—
6	锆英粉	100	2	—	0.1	3~4	—	—	—		海藻酸钠0.2
7		100	1.5	糊精1	0.3	—	—	—	—		水玻璃2
8		100	2~3	—	0.3~0.5	—	2~3	0.3	—		乙醇2~6
9		100	2	4	0.3	—	—	—	4~7		聚乙烯醇0.2~0.8
10	铬铁矿粉	100	2~3	6	—	—	—	—	—		—
11	镁砂粉	100	1	7	—	—	—	—	—		水柏油4
12	镁橄榄石粉	100	2	—	0.3	Na_3PO_4 2.5		煤焦油1			纸浆粉0.5

2. 铸钢件用有机溶剂涂料

（1）铸钢件树脂砂型用有机溶剂涂料（见表4-123）

表4-123 铸钢件树脂砂型用有机溶剂涂料配比（质量比）

序号	硅石粉	高铝矾土粉	锆英粉	锂膨润土	有机膨润土	PVB	酚醛树脂	二甲苯	乙醇
1	100	—	—	—	—	—	2~8	—	适量
2	—	100	—	6~8	—	0~0.2	4~6	—	
3	—	—	100	4~8	—	0~0.2	2~4	—	
4	—	—	100	—	1.5	—	2	15	
5	—	—	100	6~8	—	0~0.2	4~6	—	

（2）铸钢件水玻璃砂型用有机溶剂涂料（见表 4-124）

表 4-124　铸钢件水玻璃砂型用有机溶剂涂料配比（质量比）

序号	耐火填料		锂膨润土	有机膨润土	石蜡	硬脂酸	PVB	酚醛树脂	二氧化钛	二甲苯	乙醇
1	硅石粉	100	—	—	4	4	—	—	—	—	适量
2	刚玉粉	100	—	—	—	—	0.6	3	—	—	适量
3	锆英粉	100	2～5	—	—			4～5	0.1～1	—	适量
4		100	—	1.5	—	—	—	2	—	5～15	适量
5		100	—	—	2	—	—	—	—	—	适量
6	镁砂粉	100	—	—	—	8	—	—	—	—	适量
7		100	—	—	—	—	0.3	2.7	—	—	适量

3. 铸钢件实型铸造用涂料（见表 4-125）

表 4-125　铸钢件实型铸造用涂料配比（质量比）

序号	耐火填料		活化膨润土	PVA	石油磺酸	聚醋酸乙烯乳液	酚醛树脂	乌洛托品	水	乙醇	汽油	洗涤剂	其他
1	高铝矾土粉 刚玉粉	10～20 40～50	—	适量	—	—	—	—		35～45	—	—	—
2	高铝矾土粉 镁砂粉	10～20 40～50	—	适量	—	—	—	—		35～45		—	—
3	锆英粉	100	2	—	—	—	—		适量	—	—	0.5	纸浆废液适量
4		100	1.5		0.05～0.1	2～2.5	—		适量	—	—	—	CMC 适量
5		100	1.5				2	0.3	—	适量	—	—	松香 1
6		67	—	—	—	—	2	—	—	—	21	45～80（胶 10）	

4. 铸钢件 V 法造型用涂料

铸钢件 V 法造型用涂料的配比见表 4-126。

表 4-126　铸钢件 V 法造型用涂料的配比（质量比）

序号	锆英粉	刚玉粉	膨润土	粘土	硅酸乙酯水解液	酚醛树脂	乌洛托品	活性剂	润湿剂	乙醇
1	85～70	15～30	1～5	1	—	2～5	0.3～0.75	0.05～0.1	0.01～0.1	适量
2	—	100	—	—	45	—	—	—	—	适量

5. 铸钢件表面合金化涂料

碳钢铸件表面渗铬、渗锰后，可大大提高其耐磨性。碳钢铸件表面渗铬时，涂料中应采用高碳铬铁，效果较好。碳钢铸件表面渗铬涂料的配比案例见表 4-127。

表 4-127　碳钢铸件表面渗铬涂料的配比（质量比）

高碳铬铁粉	锰铁粉	铜粉	水玻璃	水
92	5	3	40	适量

4.7.3　铸铁件砂型用涂料

1. 铸铁件用水基涂料

（1）铸铁件粘土砂干型用水基涂料（见表 4-128）

表 4-128　铸铁件粘土砂干型用水基涂料的配比（质量比）

序号	耐火填料		膨润土	粘土	CMC	糖浆	水柏油	硅溶胶	水玻璃	聚醋酸乙烯乳液
1	无定形石墨粉 鳞片状石墨粉	60 40	3	4	—	2	3	—	—	—
2	无定形石墨粉	100	4～8	—	—	—	—	—	—	—
3	无定形石墨粉 滑石粉 焦炭粉	30 30 40	2	—	—	—	聚乙烯醇 1			—
4	无定形石墨粉 硅石粉 滑石粉 焦炭粉	30 30 10 30	2	—	0.3	—	—	—	—	—
5	无定形石墨粉 锆英粉	22 78	2	11	—	—	海藻酸钠 0.6			—
6	无定形石墨粉 长石粉 滑石粉	20 72 8	2～4	—	0.3～0.5	—	—	4～6	—	—
7	滑石粉 高铝矾土粉	40 60	—	—	—	S·C 植物胶 1			2	1
8	高铝矾土粉	100	2	—	—	3	1.7	—	—	—
9	高铝矾土粉	100	4.5	—	—	—	—	—	11	—
10	长石粉 滑石粉 高铝矾土粉 焦炭粉	80 5 15 4～6	2～4	—	0.3～0.5	—	—	—	4～6	—

注：水均为适量。水柏油也称快干沥青或液体沥青，后同。

（2）铸铁件树脂砂型用水基涂料（见表 4-129）

表 4-129　铸铁件树脂砂型用水基涂料的配比（质量比）

序号	耐火填料		膨润土	三氧化二铁粉	CMC	硅溶胶	聚乙烯醇	酚醛树脂	助烧结剂	表面活性剂 JFC	备注
1	无定形石墨粉 滑石粉	90 ~ 95 5 ~ 10	—	—	—	—	—	3 ~ 5	—	—	自干涂料
2	无定形石墨粉	100	3 ~ 4	—	—	—	2 ~ 3	—	—	—	自干涂料
3	锆英粉	100	2 ~ 4		0. 15 ~ 0. 5	4 ~ 7		1 ~ 2	2 ~ 4	适量	—
4	硅石粉	100	2 ~ 4		0. 15 ~ 0. 30	4 ~ 7	1 ~ 2		2 ~ 6	适量	—
5		100	2	5	0. 4	7	—	5 水溶性	—	—	—

注：水均为适量。

（3）铸铁件水玻璃砂型用水基涂料（见表 4-130）

表 4-130　铸铁件水玻璃砂型用水基涂料的配比（质量比）

序号	耐火填料		膨润土	CMC	聚乙烯醇	水	备注
1	无定形石墨粉	100	3 ~ 5	—	2 ~ 3	适量	自干涂料
2	锆英粉	100	2 ~ 3	0. 3 ~ 1	2	适量	—
3	高铝矾土粉	100	4 ~ 9	0. 5 ~ 1	2	适量	浅色自干涂料

2. 铸铁件用有机溶剂涂料

（1）铸铁件树脂砂型用有机溶剂涂料（见表 4-131）

表 4-131　铸铁件树脂砂型用有机溶剂涂料的配比（质量比）

序号	耐火填料		有机膨润土	锂膨润土	PVB	酚醛树脂	乌洛托品	乙醇
1	无定形石墨粉	100	—	—	—	4 ~ 5	0. 8 ~ 1	适量
2		100	4 ~ 5	—	0. 2 ~ 0. 5	1 ~ 1. 5	—	适量
3	无定形石墨粉 鳞片状石墨粉	70 30	—	6 ~ 8	0 ~ 0. 2	4 ~ 6	—	适量
4	鳞片状石墨粉 硅石粉 叶蜡石粉	10 25 65	—	5	—	3	—	适量

（2）铸铁件水玻璃砂型用有机溶剂涂料（见表 4-132）

表4-132　铸铁件水玻璃砂型用有机溶剂涂料的配比（质量比）

序号	耐火填料		松香	酚醛树脂	乌洛托品	甲醇	乙醇	乙丙醇	汽油
1	无定形石墨粉	100	5~10	—	—	—	适量	—	—
2	无定形石墨粉 鳞片状石墨粉	70 30	—	—	—	—	25	—	25
3	无定形石墨粉	100	6~10	—	—	—	—	—	适量
4	硅石粉 滑石粉 镁砂粉 铁矿粉	15 40 40 5	—	4	石蜡油 6	40	—	50	—
5	高铝矾土粉	100	—	5	0.8~1	—	适量	—	—

（3）铸铁件粘土湿型自干涂料（见表4-133）

表4-133　铸铁件粘土湿型自干涂料的配比（质量比）

无定形石墨粉	松香	乙醇
100	13	适量

3. 铸铁件实型铸造用涂料

铸铁件实型铸造用涂料见表4-134。

表4-134　铸铁件实型铸造用涂料的配比（质量比）

序号	无定形石墨粉	鳞片状石墨粉	高铝矾土粉	刚玉粉	活化膨润土	PVA	水	乙醇	糖浆
1	10~20	—	70~80	—	6~8	—	适量	—	2
2	60~70	20~30	10	—	4~6	—	适量	—	2
3	40~50	16~20	—	—	—	适量	—	40~50	—
4	5~10	0~10	50~60	—	—	适量	—	35~45	—
5	5~10	—	40~25	25~40	—	适量	—	30~45	—

4. 铸铁件V法造型用涂料（见表4-135）

表4-135　铸铁件V法造型用涂料的配比（质量比）

序号	耐火填料		膨润土	粘土	锂膨润土	松香	聚二乙醇	PVB	硅酸乙酯水解液	酚醛树脂	活性剂	甲醇	乙醇	丙酮
1	无定形石墨粉 鳞片状石墨粉	15~40 10~30	0~3	—	—	—	—	1~2	—	—	—	15~25	10~30	5~10
2	无定形石墨粉 锆英粉 氧化铁粉	70 28 2	—	—	3	—	1	—	—	1.8	0.1	—	适量	—

（续）

序号	耐火填料		膨润土	粘土	锂膨润土	松香	聚二乙醇	PVB	硅酸乙酯水解液	酚醛树脂	活性剂	甲醇	乙醇	丙酮
3	无定形石墨粉 鳞片状石墨粉	70 30	—	1.5	—	2.8	—	—	—	—	—	—	87	—
4	无定形石墨粉 鳞片状石墨粉 硅石粉	15～30 5～10 80～60	2～5	1	—	—	—	—	—	—	0.05～0.1	—	适量	—
5	无定形石墨粉 高铝矾土粉	17 83	—	—	—	—	—	—	50	—	—	—	适量	—

5. 铸铁件表面合金化涂料

铸铁件最常用的是渗碲，也有渗硼、锡、锡-锑等，可以防止热节处局部疏松，使铸件表面得到白口组织，提高耐磨性和防止厚壁可锻铸铁出现麻口。铸铁件用含碲、含硼涂料的配比见表4-136。

表4-136　铸铁件用含碲、含硼涂料的配比（质量比）

序号	铸铁原组织	耐火填料		膨润土	松香	糊精	糖浆	水玻璃	CMC	PVA	碳酸钠	六偏磷酸钠	酚醛树脂	乌洛托品	水	乙醇	作用
1	珠光体灰铸铁	碲粉	15	45	—	40	—	—	—	—	—	—	—	—	适量	—	使热节致密
2	珠光体灰铸铁	碲粉	75	20	—	5	—	—	—	—	—	—	—		适量	—	使铸件表面成白口
3	合金铸铁	碲粉	25	25	—	25	20	5	—	—	—	—	—	—	适量	—	
4	可锻铸铁	碲粉	30	50	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	适量	—	防止出现麻口
5	合金铸铁	碲粉 无定形石墨粉	4.2 35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.5	0.6	—	56.7	细化表层组织
6	—	碲化钴粉 无定形石墨粉	5.4 11.5	4.7	—	2.3	—	—	0.1	—	—	0.9	—	—	75	—	促进白口
7	珠光体灰铸铁	硼铁粉 无定形石墨粉	65 35	5	—	—	—	—	0.3	0.2	0.25	—	—	—	适量	—	细化石墨

（续）

序号	铸铁原组织	耐火填料		膨润土	松香	糊精	糖浆	水玻璃	CMC	PVA	碳酸钠	六偏磷酸钠	酚醛树脂	乌洛托品	水	乙醇	作用
8	—	碲粉 硼铁粉 无定形石墨粉 鳞片状石墨粉	5～10 35 50 3～5	—	3～4	—	—	—	—	—	—	—	—	95～100	—	—	防止铸件渗漏
9	—	碲粉 无定形石墨粉 鳞片状石墨粉	5～10 30 50		10～15											适量	

4.7.4　非铁合金铸件用涂料

1. 非铁合金铸件粘土砂干型用水基涂料

（1）铜合金铸件粘土砂干型用水基涂料（见表 4-137）

表 4-137　铜合金铸件粘土砂干型用水基涂料（质量比）

序号	无定形石墨粉	鳞片状石墨粉	滑石粉	白垩粉	云母粉	硅石粉	焦炭粉	膨润土	碳酸钠	糊精	糖浆	纸浆废液	赤铁矿粉
1	67	33	—	—	—	—	—	6	0.2	—	—	—	—
2	80	—	20	—	—	—	—	4	—	2	—	—	—
3	25	—	75	—	—	—	—	2	—	8	—	—	—
4	25	—	—	—	—	50	25	5	—	—	—	—	5
5	—	—	100	—	—	—	—	6	0.2	—	—	4	—
6	—	—	70	30	—	—	—	—	—	—	6	—	—
7	—	—	47	—	53	—	—	—	—	—	6	—	—

注：水均为适量。

（2）铝合金铸件粘土砂干型用水基涂料（见表 4-138）

表 4-138　铝合金铸件粘土砂干型用水基涂料（质量比）

序号	无定形石墨粉	鳞片状石墨粉	滑石粉	膨润土	碳酸钠	糖浆	纸浆废液	聚醋酸乙烯乳液	水玻璃	氧化锌	硼酸
1	—	—	100	—	—	2	—	—	—	—	—
2	40	—	60	6	0.2	—	2	—	—	—	—

（续）

序号	无定形石墨粉	鳞片状石墨粉	滑石粉	膨润土	碳酸钠	糖浆	纸浆废液	聚醋酸乙烯乳液	水玻璃	氧化锌	硼酸
3	—	—	100	—	—	—	—	—	25	—	25
4	—	100	—	24	—	—	—	6	—	10	—

注：水均为适量。

2. 非铁合金铸件实型铸造用涂料（见表4-139）

表4-139　非铁合金铸件实型铸造用涂料（质量比）

序号	鳞片状石墨粉	滑石粉	PVA	酚醛树脂	乙醇	汽油	胶15
1	—	42	适量	—	55	—	—
2	46	—	—	6	—	43	45～80

4.7.5　涂料的涂敷方法

涂料的涂敷方法有：刷涂、浸涂、喷涂、流涂等，其适用范围见表4-140。

表4-140　涂料的涂敷方法及适用范围

涂敷方法			浸涂		刷涂		流涂		喷涂	
涂料种类			醇基	水基	醇基	水基	醇基	水基	醇基	水基
砂芯	单件生产	小型	○	○	○	○				
		中型	○	○	○	○	○	○	○	○
		大型		○	○	○	○	○	○	○
	大量生产	小型	○	○						○
		中型	○	○				○		○
		大型		○			○	○		○
砂型	单件生产	小型			○	○			○	○
		中型			○	○			○	○
		大型			○	○			○	○
	大量生产	小型							○	○
		中型								○
		大型			○	○				○

注：“○”表示合适或常用。

刷涂法—是用刷子将涂料刷到型、芯上的一种方法。

浸涂法—是将型芯浸入涂料槽中，经短时间后取出，使砂芯获得涂层的涂敷方法。

喷涂法—在一定压力下，使涂料呈雾状、细小的液滴状或粉状，喷射到型、芯表面形成涂层的涂敷方法。分有气喷涂、无气喷涂、静电喷涂。

流涂法—是一种低压浇涂，靠流涂机的泵，将涂料压送出流涂嘴后浇到型、芯表面。多余的涂料流入型芯下方的涂料槽内，供继续使用。

4.7.6 涂料缺陷分析及解决方案

1. 涂料工艺性缺陷及解决方案（见表4-141）

表4-141 涂料工艺性缺陷及解决方案

序号	缺陷	原因分析	解决方案
1	悬浮性差	1）耐火填料颗粒太粗，并使用搅拌法配制涂料，或虽用了研磨法但研磨时间太短	1）用粒度细的耐火填料，或使用研磨法配制，保证足够的研磨时间，使涂料完成“熟化”过程
		2）悬浮剂太少或选用不当	2）选用合适的悬浮剂和加入量，改善涂料内部结构，并使涂料具有足够的屈服值
		3）某些悬浮剂未给予充分的引发、溶胀	3）对这些悬浮剂做好预处理
		4）载体过多	4）减少载体，增加稠度
		5）使用了硬水	5）改善水质
		6）轮碾机或碾轮式混砂机的碾轮与底板接触状态不好或碾轮过度磨损；胶体磨的动磨片和静磨片之间的间隙过大，使研磨力减弱	6）检查和改善碾轮与底板的接触状态，及时更换过度磨损的碾轮和底板；调节好磨片间隙；必要时增加研磨时间
2	涂刷性差	1）载体不足，涂料太稠	1）补充载体，稀释涂料
		2）涂料内部结构薄弱，剪切稀释能力差	2）本表中改善悬浮性的措施（除减少载体、增加稠度外
		3）使用水柏油等憎水粘结剂时未经乳化处理，并使用了湿的耐火粉料，或与糖浆等含水液料同时加入配制涂料	3）憎水粘结剂乳化后再配制涂料；如不乳化处理，则只能用研磨法配制涂料，并在未加入糖浆等含水液料的条件下充分研磨，使憎水材料均匀地覆盖在干粉表面，然后再加入含水液料及水继续配制
3	不流淌性差	1）载体过量，涂料太稀	1）减少载体，或添加膏状涂料，提高稠度
		2）面活性剂过多	2）适当减少表面活性剂
		3）同本表中前述导致悬浮性差和涂刷性差的原因（载体不足、涂料太稠除外）	3）加强涂料内部结构，适当提高其屈服值。上述改善悬浮性和涂刷性的措施（除补充载体外）均有效
4	流平性差	1）触变性差	1）提高涂料触变性
		2）载体太少，涂料太稠，屈服值过高	2）补充载体，降低屈服值
		3）表面活性剂过多或选用不当	3）减少表面活性剂，不使用op-4、MOA等表面洁性剂，提高涂料的表面张力
		4）有机溶剂渗入型、芯孔隙过多	4）有机溶剂涂料中采用PVB等增稠效果好的材料，可减缓有机溶剂的渗入

（续）

序号	缺陷	原因分析	解决方案
5	涂层厚度不易达到	1）载体过多，涂料太稀，屈服值太小	1）适当减少载体，增加稠度，提高屈服值
		2）表面活性剂和消泡剂过多，使涂料的渗透性过强	2）适当控制表面活性剂及消泡剂的加入量
		3）水溶性酚醛树脂过多	3）控制好水溶性酚醛树脂的加入量
6	渗透性查	1）载体少或悬浮剂多，涂料太稠	1）增加载体，减少悬浮剂，降低屈服值
		2）触变性差	2）提高涂料触变性
		3）耐火粉料细度不够	3）提高耐火粉料的细度，或采用研磨法配制涂料，增加研磨时间
		4）涂料对基体的润湿性差，特别是植物油砂、合脂砂和树脂砂	4）添加适量表面活性剂，以改善涂料对型、芯的润湿性，提高渗透性
7	涂料起泡或发臭	1）高速搅拌	1）涂料在使用前的稀释、搅拌应采用低速搅拌
		2）使用了会产生大量气泡的表面活性剂	2）改用无泡，或低泡的表面活性剂
		3）使用了已经发酵、变质的材料（如糖浆），或在涂料储存中这些组分发酵变质	3）用干净的容器盛装易发酵、变质的材料，防止其发酵变质；不使用已发酵变质的材料
		4）防腐剂未加或加入太少，或涂料储放太久	4）添加足量防腐剂，及时使用涂料或适时补充防腐剂
		5）消泡剂未加或加入太少	5）添加适量的消泡剂
		6）用作载体的水质受污染	6）使用未受污染的水，必要时可用纯净水

2. 涂料工作性缺陷及解决方案（见表 4-142）

表 4-142　涂料工作性缺陷及解决方案

序号	缺陷	原因分析	解决方案
1	涂层中有大量气孔	1）在涂敷时涂料本身存在大量气泡	1）采用表 4-141 中消除涂料起泡的措施
		2）有机溶剂涂料在点火干燥、固化时产生的气体来不及逸出	2）控制酚醛树脂等有机材料的加入量；选用燃烧较为缓慢的有机溶剂；每次不能涂敷太厚
2	涂层强度低，耐磨性差	1）粘结剂不足	1）适当添加酚醛树脂、CMC、聚醋酸乙烯乳液、海藻酸钠等粘结剂，能明显提高涂层强度
		2）某些粘结剂和悬浮剂未经过必要的预处理	2）对这些材料进行预处理后，再进行配制涂料
		3）粘结剂随载体过多地渗入型、芯	3）改善涂料的悬浮性、内部结构、耐火填料细度等，有机溶剂涂料中加入 PVB 效果较好

（续）

序号	缺陷	原因分析	解决方案
2	涂层强度低，耐磨性差	4）有机溶剂涂料点燃后燃烧不良	4）使用含水量低的乙醇，必要时以异丙醇取代；对于面积大的型、芯，涂刷时采用刷一块点燃一块的做法
3	涂层开裂，剥落	1）涂层过厚，或厚薄不匀	1）避免涂料过稠，提高涂刷质量
		2）涂层在干燥过程中收缩过大	2）适当控制膨润土、粘土等加入量，不使用锻烧不充分的高铝矾土粉
		3）涂料渗透性差，使涂层与基体结合不牢	3）采用表4-141中提高涂料渗透性的措施
		4）涂层强度高于基体强度过多，溶剂和型、芯砂粘结剂不匹配	4）适当减少涂料的粘结剂，水玻璃砂型尽量使用有机溶剂涂料
4	涂层发气量过高	1）有机的粘结剂和悬浮剂过多	1）适当控制这些材料的加入量，或选用一些无机材料取代有机材料
		2）有机溶剂涂料点燃后燃烧不充分	2）参见本表中防止有机溶剂涂料燃烧不良的措施
5	抗粘砂性差	1）耐火填料选择不当	1）选用既适合于金属材质，又与基体相匹配的耐火填料
		2）涂层厚度不够，渗入基体太浅，涂层开裂、剥落、耐金属液冲刷性差	2）参见表4-141及本表中相应的措施

4.8 砂芯修补砂、修补膏与胶合剂

4.8.1 砂芯修补砂

修补砂应具有较好的粘附性和可塑性，以便操作。砂芯修补砂用于修补烘干或硬化后砂芯表面缺肉、掉角、堵塞工艺孔等。修补方法是将修补砂用力按在缺损处，捏成大致形状，再用砂刀削成所需形状。

自硬砂砂芯用的修补砂，是用新混制的同种自硬砂修补。粘土砂砂芯和油砂砂芯的修补砂，其配比见表4-143。

表4-143 粘土砂砂芯和油砂砂芯的修补砂配比（质量比）

序号	新砂（筛号50/140）	膨润土	粘土	石墨粉	纸浆废液	糊精	桐油	水	配制工艺
1	100	32			20	—	—	≈12	先混干料，再加纸浆废液，最后加水调至类似橡皮泥的状态
2	100	12			17	—	—	适量	
3	100	4			—	6	—	适量	
4	100	50			30	—	4	20	
5	100		10	5	8			适量	
6	100		12		17			适量	

4.8.2　砂芯修补膏

修补膏近似胶泥状，主要用于修补烘干后的砂芯表面细裂纹和粗糙部分。方法是将修补膏用力抹于砂芯需修补的表面，并抹平抹光。

砂芯修补膏的配比及混制工艺见表 4-144。

表 4-144　砂芯修补膏的配比（质量比）及混制工艺

序号	耐火填料		膨润土	糖浆废液	糊精	干性油	水	混制工艺
	名称	加入量						
1	鳞片状石墨粉	100	25	25	—	10	≈25	先将膨润土和液体材料放入搅拌桶内搅拌均匀，然后，加入鳞片状石墨粉（或硅石粉，或滑石粉），再搅拌至细腻膏状为止
2		100	5～6	—	5	—	适量	
3		100	25	12.5	—	—	适量	
4	硅石粉	100	5.5	—	5.5	3.5	适量	
5		90	5		5	3		
6	滑石粉	100	9.5	—	—	—	80	

4.8.3　砂芯胶合剂

砂芯胶合剂用于胶合两半砂芯，或作为修补砂芯的粘结剂。分两类：常温胶合剂和热状态下胶合剂。

1. 常温下用胶合剂

砂芯在常温下胶合用的砂芯胶合剂配比及性能见表 4-145。

表 4-145　常温下使用的砂芯胶合剂配比及性能

序号	膨润土	纸浆废液	糊精	水玻璃	糖浆	盐酸（质量分数 20%）	水	干拉强度/MPa
1	29.3	66.6	2	—	2	0.1	—	>1.0
2	40～50	—	50～60	—	—	—	适量	>0.75
3	12	88	—	—	—	—	—	—
4	滑石粉 50—		—	50	—	—	—	—

2. 热状态下用的胶合剂

砂芯在热状态下胶合，例如：温度为 100～200℃的热壳芯（型）用的胶合剂，见表 4-146。

表 4-146　热状态下用的胶合剂

序号	种类	胶合剂的组成（质量比）
1	热胶合	温度为 100～200℃的热壳芯（型）用无机粘合剂胶合，其组成为：水玻璃 100%，复合强化填料 23%，复合促硬剂 3.5%，表面活性剂适量
2	热压合	用粉状酚醛树脂，撒在热态的壳芯（型）分型面上压合
3	压合	将呋喃树脂与酸催化剂同时涂在处于冷态的壳芯（型）分型面上压合

3. 快干胶合剂

快干胶合剂适用于冷芯盒和热芯盒等高速制芯生产，分为有机快干胶合剂和无机快干胶合剂两类，见表4-147。

表4-147 砂芯用快干胶合剂

分类	胶合剂的主要组成
有机快干胶合剂	由树脂胶、溶剂、填料组成
无机快干胶合剂	配比：水玻璃（$M=2.6\sim2.7$，$\rho=1.5g/cm^3$）75%，粘土15%，熟石灰粉（建筑用）5%~10%现配现用

4.9 冒口套、冒口覆盖剂材料

保温冒口套或发热冒口套、顶部覆盖保温剂或发热剂（统称覆盖剂），可延长冒口凝固时间，冒口补缩效率为30%~50%，最高达67%，比普通冒口工艺出品率提高10%~25%，显著地节约金属和降低铸件成本。

4.9.1 冒口套用原材料

保温冒口套、发热冒口套如图4-3所示。

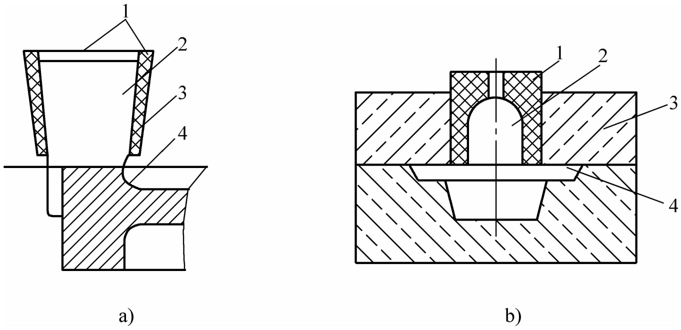


图4-3 保温冒口套、发热冒口套

a）明冒口 b）暗冒口

1—保温、发热套（剂） 2—冒口 3—隔离砂 4—铸件

冒口套材料主要由耐火材料、保温材料、发热和点火材料、延缓和填充材料以及粘结材料等组成。

1. 耐火材料

冒口套用的耐火材料，常用的有硅砂、镁砂、铬铁矿砂、硅藻土等。

2. 保温材料

冒口套用的保温材料有三类：①耐火纤维；②空心材料（如膨胀珍珠岩复合材料、漂珠等）；③烟道灰、木炭粒、锯木屑等复合材料。蛭石也可做保温材料。

（1）电厂粉煤灰 从电厂煤粉锅炉烟道气体中收集的粉末，称粉煤灰。它是一种硅质或硅铝质材料。

1）粉煤灰的化学组成、主要矿物组成、物理性能见表4-148。

表4-148　粉煤灰的化学组成、主要矿物组成、物理性能

化学组成（质量分数,%）		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3		
		38～54	23～38	4～6	3～10	0.5～4	0.1～1.2		
主要矿物组成		晶体矿物	石英、莫来石、磁铁矿、氧化镁、生石灰、无水石膏						
		非晶体矿物	玻璃体（占50%以上）、无定形碳、次生褐铁矿						
68个火电厂的粉煤灰基本物理性能	项目	密度/(g/cm³)	堆密度/(g/cm³)	密实度/(g/cm³)	比表面积/(cm²/g) 氧吸附法	比表面积/(cm²/g) 透气法	原灰标准稠度(%)	需水量(%)	28h抗压强度比(%)
	范围	1.9～2.9	531～1261	25.6～47.0	800～195000	1180～6530	27.3～66.7	89～130	37～85
	均值	2.1	780	36.5	34000	3300	48.0	106	66

2）粉煤灰的分类和等级见表4-149。

表4-149　粉煤灰的分类和等级（GB/T1596—2005）

分　类		等　级
F类	由无烟煤，或烟煤煅烧收集的	Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级
C类	由褐煤，或次烟煤煅烧收集的	

3）Ⅲ级粉煤灰的矿物组成、化学成分、技术指标见表4-150。

表4-150　Ⅲ级粉煤灰的矿物组成、化学成分、技术指标

矿物组成

α-石英	富铝红柱石（莫来石）	赤铁矿、磁铁矿	玻璃体	SiO_2	Al_2O_3
10.90	13.60	6.11	66.41	35.81	13.16

化学成分（质量分数,%）

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	可溶性 SiO_2	可溶性 Al_2O_3
50.52～56.77	22.59～24.22	6.11～7.38	6.57～10.70	1.52～1.86	0.67～0.98	1.60	0.86	1.54～1.85	7.80～10.53

技术指标

密度/(g/cm³)	细度(%)	烧失量（质量分数,%）	需水量比(%)	SO_3（质量分数,%）	含水量（质量分数,%）
2.08～2.22	12.6～15.5	1.02～1.97	99.0～105.5	0.67～0.98	<1.0

注：1. 细度为过80μm筛筛余，相当于过45μm筛筛余量的28%～35%。
2. 表中数据为广西田东电厂煤粉公司Ⅲ级粉煤灰的数据。

（2）空心微珠　火电厂排放的粉煤灰中，含有一种颗粒微小（粒径2～400μm）、质轻、颜色由浅到深的透明、半透明的空心（或实心）的球形玻璃体，将它们放在光学显微镜下观察，形体完美、光彩夺目、像一颗颗银白色的晶莹的珍珠，故定名为“空心微珠”。空心微珠分两类：

1）漂珠——其形态为薄壳微珠。薄壳微珠能浮于水面上，俗称“漂珠”，其含量占灰渣总质量分数的1%。漂珠主要用于隔热保温材料，如铸造用保温和发热冒口套、空心漂珠轻质隔热耐火砖、空心漂珠绝热板、空心漂珠防火涂料、人造泡沫复合材料。

2）沉珠——其形态有四种（厚壳微珠、实心微珠、富铁微珠、复合微珠），这四种形态的微珠均能沉于水中，俗称“沉珠”，占粉煤灰总质量分数的30%～80%。空心沉珠主要用于塑料填料；还用于橡胶、沥青的改性；大量用于金属基耐磨材料、绝缘材料。

微珠具有活性高、质轻、绝热、电绝缘性好、耐高低温、耐腐蚀、防辐射、隔声、耐磨、抗压强度高、分散性好、流动性好、热稳定性好、罕见的电阻热效应、防水防火、无毒等优异功能，是新型复合材料工业的优质原料及填充剂。

漂珠的物理性能见表4-151。

表4-151　漂珠的物理性能

色泽	堆密度/($\times10^3$kg/m^3)	密度/($\times10^3$kg/m^3)	粒径/μm	壁厚/μm
银灰色	0.33～0.36	0.57	20～160	2～10
耐压强度/MPa	耐火度/℃	熔点/℃	比表面积/(m^2/g)	热导率/[W/(m·K)]
5.9～7.9	1700	1300～1600	0.36	0.118(25℃) 0.126(500℃) 0.188(1000℃)

（3）膨胀珍珠岩　当酸性熔岩喷发出地表时，由于岩浆骤冷而有很大的粘度，使大量水蒸气未能从岩浆逸散而存在于玻璃质中。当焙烧时，因突然受热达到软化程度，玻璃质中结合水汽化产生很大压力，体积迅速膨胀。在玻璃质冷却到软化温度以下时，便凝成空腔结构，形成多孔的膨胀珍珠岩。

膨胀珍珠岩具有表现密度轻、热导率低、化学稳定性好、使用温度范围广、吸湿能力小、无毒、无味、防火、吸声等特点，广泛应用于建筑、助滤剂和填料、农林园艺、机械、冶金、水电、轻工业等多种工业部门。膨胀珍珠岩的技术要求见表4-152。

表4-152　膨胀珍珠岩的技术要求（JC/T209—1992）

<table>
<tr><th rowspan="3">标号</th><th rowspan="3">堆密度/(kg/m^3)</th><th rowspan="3">含水量（质量分数,%）</th><th colspan="4">粒度</th><th colspan="3" rowspan="2">热导率[平均温度(298±5)K,温度梯度5～10K/cm]/[W/(m·K)]</th></tr>
<tr><th rowspan="2">5mm筛孔筛余量(%)≤</th><th colspan="3">0.15mm筛孔过量(%)≤</th></tr>
<tr><th>优等品</th><th>一等品</th><th>合格品</th><th>优等品</th><th>一等品</th><th>合格品</th></tr>
<tr><td>70</td><td>70</td><td rowspan="5">2</td><td rowspan="5">2</td><td rowspan="5">2</td><td rowspan="5">2</td><td rowspan="5">2</td><td>0.047</td><td>0.049</td><td>0.051</td></tr>
<tr><td>100</td><td>100</td><td>0.052</td><td>0.054</td><td>0.056</td></tr>
<tr><td>150</td><td>150</td><td>0.058</td><td>0.060</td><td>0.062</td></tr>
<tr><td>200</td><td>200</td><td>0.064</td><td>0.066</td><td>0.068</td></tr>
<tr><td>150</td><td>150</td><td>0.070</td><td>0.072</td><td>0.074</td></tr>
</table>

3. 发热材料、点火材料

（1）发热材料　发热剂常用的有两种：①铝硅热剂——是由铝粉、硅铁粉、氧化铁等组成的混合物；②铝热剂——是由铝粉和氧化铁粉末按一定比例配成的混合物。

发热材料主要是铝粉，w(Al)＞95%，过120目筛；硅铁粉，用Si75硅铁，过40～70目筛；氧化铁粉，过40～70目筛。铸造铝热剂常用氧化铁红（呈红色）。选用氧化铁粉时应注意氧化物形式。此外，也要注意其酸碱性，以便正确使用。

（2）点火材料　点火剂——镁和氧化剂，如硝酸钠、硝酸钾等。当金属液温度超过1250℃时，铝、硅和氧化铁强烈反应而放热，因而延长冒口的凝固时间。这类发热剂适用于铸钢，大型冒口效果较好。但用于小型冒口或非铁合金冒口时，难以达到反应温度，这时应加入点火剂镁和氧化剂。

4. 延缓、填充剂

其作用主要是延缓放热反应的进行。

5. 粘结剂

常用的有：膨润土、矾土水泥、水玻璃、酚醛树脂等。

4.9.2　铸钢件用保温冒口套的配方及性能

1. 保温冒口套种类

铸钢件用的保温冒口套有五种：①粉煤灰漂珠型；②珍珠岩复合型；③烟道灰型；④碳化稻壳型；⑤纤维复合型。保温冒口套的物理性能和工艺性能见表4-153。

表4-153　保温冒口套的物理性能和工艺性能

冒口套类别	物理性能						冒口套成型方法	冒口套清砂性	环保性	工艺出品率(%)	冒口补缩效率(%)
	密度/(g/cm³)	耐火度/℃	线收缩率(%)	热导率/[W/(m·K)]	透气性≥	抗压强度/MPa					
粉煤灰漂珠型	0.44～0.65	1610～1710	1.14	0.083～0.11	60	4.5～6.0	用模具常温下成型	成块脱落清理方便	无异味无有害气体无粉尘无刺激味	70～75	30～40
珍珠岩复合型	0.65～0.83	1360～1730	0.19～0.50	0.222～0.256	30	＞1.2	用模具常温下成型	自动脱落	无污染	70～76	—
烟道灰型	0.6～0.8	1530～1630	2.67～3.0	0.215	30	＞1.0	微震机成型，CO_2硬化，脱模烘干	容易清理不粘铸件	有粉尘	71～75	25～30

（续）

冒口套类别	物理性能						冒口套成型方法	冒口套清砂性	环保性	工艺出品率(%)	冒口补缩效率(%)
	密度/(g/cm^3)	耐火度/℃	线收缩率(%)	热导率/[W/(m·K)]	透气性 ≥	抗压强度/MPa					
碳化稻壳型	0.65～0.68	1510～1550	—	0.172	—	1.0	用模具常温下成型	成块脱落	无污染	66～71	—
纤维复合型	0.79～0.85	1650～1700	2.1～3.8	0.083～0.163	30	—	用特殊吸滤工艺成型。烘干	呈粉状脱落	粉尘大	70～75	25～30

2. 空心微珠（漂珠）保温冒口套

（1）空心微珠（漂珠）保温冒口套混合料的配制（见表4-154）

表4-154 空心微珠（漂珠）保温冒口套混合料的配制

配方(质量分数,%)	组分	空心微珠	碳质材料	硅砂 $w(SiO_2)$ >98%	耐火粘土	麻纤维(长10～20mm)	粘结剂(聚酯树脂、水玻璃、磷酸盐)	水
	作用	保温	辅助保温(碳60%～65%,灰分35%～40%)	耐火骨料，粒形为多角形	建立混合料湿强度	增加常温强度	建立常温干强度和高温强度	
	含量(质量分数,%)	55～60	15～20	15～20	5～10	0.5～1.0	15～20	适量
混合料混制工艺	1）按配方要求配比，称量各种组分 2）设备。若采用碾轮式混砂机时，应调高碾轮高度，以防碾坏骨料 3）空心微珠+辅助保温材料+硅砂+耐火粘土+麻纤维──→干混1～2min+粘结剂──→湿混5～7min+水──→混2～3min──→出料							
保温套造型工艺	1）漂珠保温冒口的耐热性较差，因此冒口与铸件不能直接相连，需在冒口与铸件之间垫隔离型砂30～40mm 2）将混合料注入模具常温成型→脱模							
烘干工艺	保温套造型后，先风干1～2h。控制干燥窑温度在180～230℃，将保温冒口套进窑烘干4～5h，出窑							
质量检验	成品检验→包装入库							
使用特点	清理方便，冒口套成块脱落。无异味、无有害气体、无粉尘、无刺激物							

（2）空心微珠保温冒口套的使用性能（见表4-155）

表 4-155 保温冒口套的使用性能

溶蚀性/mm	清砂性	冒口成型方法	缩孔特征	环保性	运输状况	尺寸精度
0～4 (ϕ<500mm 冒口)	冒口套呈块状脱落，无粉尘，清理方便	半干法成型，成型工艺装备简单	补缩良好，呈盆形，无二次缩孔	无有害气体，无粉尘	强度高，不易损坏，破损率低	较高

3. 膨胀珍珠岩保温冒口套

膨胀珍珠岩复合保温冒口套混合料的配方、混制与制套工艺、性能见表 4-156。

表 4-156 膨胀珍珠岩复合保温冒口套混合料的配方、混制与制套工艺、性能

<table>
<tr><td rowspan="4">配方
(质量分数,%)</td><td>序号</td><td>膨胀珍珠岩
(粒度 12～20 目)</td><td>铝钒土
(≥150 目细粉)</td><td>石膏</td><td>锯末</td><td>烟道灰
(控制水分不应太大)</td><td>矾土水泥
(425 号～525 号)</td><td>水</td></tr>
<tr><td>A</td><td>5～10</td><td>27～28</td><td>—</td><td>—</td><td>38～40</td><td>23～25</td><td>适量</td></tr>
<tr><td>B</td><td>15</td><td>熟料 20</td><td>—</td><td>—</td><td>45</td><td>20</td><td>适量</td></tr>
<tr><td>C</td><td>15</td><td></td><td>60</td><td>5</td><td>—</td><td>20</td><td>适量</td></tr>
<tr><td colspan="2">混合料混制工艺</td><td colspan="7">膨胀珍珠岩 + 1/3 水量──→预混 3min + 其他各种组分──→干混 5min + 其余 2/3 水量──→湿混 6～8min</td></tr>
<tr><td colspan="2">冒口套的制造</td><td colspan="7">混合料分批加入芯盒中，每批料层高 30～50mm，套内放置芯铁圈加固，用木棒捣实冒口套
脱模后，保温冒口套要修光，在常温下可以喷水养生 16h(1 次/h)</td></tr>
<tr><td colspan="2">低温烘干</td><td colspan="7">养生后的保温套，须经 120～150℃低温烘干 2～3h，促进硬化强度提高</td></tr>
<tr><td colspan="2">保温套的
内表面刷涂料</td><td colspan="7">1）涂料配方：镁砂 100 + 糖浆 7 + 膨润土 1 + 水适量
2）在出炉后及时刷涂料，以备造型用。或养生后刷涂料，放置干燥处，供造型使用，随砂型进窑烘干
3）涂料涂刷厚度由冒口直径而定(见下表)：
<table>
<tr><td>冒口直径/mm</td><td>100～200</td><td>200～300</td><td>300～400</td><td>400～500</td><td>>500</td></tr>
<tr><td>涂料厚度/mm</td><td>0.5～1.5</td><td>1.5～2.5</td><td>2.5～3.5</td><td>3.5～4.5</td><td>≥4.5</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td colspan="2">保温冒口套性能</td><td colspan="7">膨胀珍珠岩复合保温冒口套性能见下表：
<table>
<tr><td>堆密度/(g/cm³)</td><td>湿压强度/MPa</td><td>干压强度/MPa</td><td>热导率(1300℃)/[W/(m·K)]</td></tr>
<tr><td>0.6～0.8</td><td>0.03～0.05</td><td>0.7</td><td>0.28</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

注：1. 用膨胀珍珠岩也可制成“表干型保温冒口套”。混合料的配制方法：膨胀珍珠岩 + 工业糖浆→双轮混砂机混 3～4min + 菱苦土 + 硅砂──→混 5min，出碾──→制造保温冒口套──→供造型──→浇注前用火焰喷枪与砂型一同烘烤，使之表面干燥，即合箱浇注。

2. 也可将膨胀珍珠岩与空心微珠结合，制成复合型保温冒口套。

4.9.3　有色金属铸造用保温冒口套的配方及性能

有色铸件通用保温冒口套见表4-157。

表4-157　有色铸件通用保温冒口套

<table>
<tr><td colspan="11">配方(质量分数,%)、混料工艺及性能</td></tr>
<tr><td>编号</td><td>膨胀珍珠岩</td><td>空心微珠</td><td>耐火粘土</td><td>水玻璃</td><td>水</td><td colspan="2">密度/(kg/m³)</td><td>热导率/[W/(m·K)]</td><td>比热容/[kJ/(kg·K)]</td><td>σ_b/MPa</td></tr>
<tr><td>1</td><td>80</td><td></td><td>10</td><td>10</td><td rowspan="3">适量</td><td colspan="2" rowspan="3">550～650</td><td rowspan="3">0.14～0.21</td><td rowspan="3">1.2～1.4</td><td rowspan="3">>1.2</td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td>80</td><td>10</td><td>10</td></tr>
<tr><td>3</td><td>40</td><td>40</td><td>10</td><td>10</td></tr>
<tr><td colspan="2">混料工艺</td><td colspan="9">膨胀珍珠岩(或微珠)+水→搅拌2min→1/2粘结剂→搅拌2min→耐火粘土→搅拌4min→1/2粘结剂→搅拌2min→出料</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="4">保温冒口套烘干工艺</td><td colspan="2">方法</td><td colspan="3">烘 干 工 艺</td><td colspan="4">特　　点</td></tr>
<tr><td colspan="2">自然干燥</td><td colspan="3">室温下放置4～5d即可使用</td><td colspan="4">节约设备和能源;但干燥程度不良,影响保温效果</td></tr>
<tr><td colspan="2">低温烘干</td><td colspan="3">200℃左右,烘干1.5h</td><td colspan="4">—</td></tr>
<tr><td colspan="2">高温烘干</td><td colspan="3">炉内800℃烘干20～30min</td><td colspan="4">烘干的保温冒口套干强度高(2.5～3MPa),但有时有开裂</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">保温冒口套内径与壁厚</td><td colspan="2">内径/mm</td><td>60</td><td>80</td><td>90</td><td>100</td><td>120</td><td>150</td><td>200</td></tr>
<tr><td colspan="2">壁厚/mm</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>20</td><td>20</td><td>25</td><td>25</td></tr>
</table>

4.9.4　发热冒口套的配方

1. 保温材料、发热材料的配方（见表4-158、表4-159）

表4-158　以空心微珠为主原料的保温材料配方（质量分数）　（%）

组分	微珠	附加物	粘结剂	其他
配比	45	38	18	<2

表4-159　发热材料的配方（质量分数）　（%）

组分	Al粉	Fe_2O_3	氧化剂、还原剂	缓冲剂	引燃剂	粘结剂	其他
配方1	23	29	—	23(NaF)	1.5(镁屑)	18	<2
配方2	14～17	15～22	5～8	20～30(刚玉粉)	—	5～9	20～25

注：由于铝热反应激烈，故加入一定比例缓冲剂NaF。引燃剂采用镁屑。

2. 发热冒口套的配方、性能（见表4-160、表4-161）

表4-160　发热冒口套的配方（质量分数）　（%）

组分	铝粉(120目)	硝酸钠	Fe_2O_3	铝矾土	蛭石	水玻璃	冰晶石	氧化钠
德国配方	30	5	4～10	—	40～50	10	4	5～10
国产配方	25～35	5～10	15～25	40～50	—	25～35	—	—

表 4-161 发热冒口套的性能及出品率

冒口类别	密度/(kg/m^3)	点火时间/min	最高发热温度/℃	热损失率（质量分数,%）	铸件出品率（%）
德国	1.68	<0.5	1455~1480	2.16	80
国产	1.83	0.5~1.5	1500~1600	1.56	80

4.9.5 明冒口覆盖剂的配方

大型铸件采用大型保温明冒口，浇注中必须在冒口顶部添加覆盖剂，以降低辐射热损失和对流热损失。覆盖剂必须具备保温、发热、膨胀三个热效应。

1. 原材料

覆盖剂含有保温材料、发热材料、渣液形成材料。

（1）发热剂 采用铝粉、硅铁粉、氧化铁皮或多种成分的复合物。在覆盖剂的配比中，发热材料的质量分数以8%为宜。

（2）保温材料 选用热导率和密度均较小的酸化石墨、木炭粒、锯木屑、膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、粉煤灰等。保温材料的配比（质量比）选择为酸化石墨∶珍珠岩∶粉煤灰=3∶1∶4。

（3）渣液形成材料 在低碳石墨和膨胀珍珠岩中，含有大量SiO_2、Al_2O_3、CaO、Fe_2O_3等，这些材料有利于形成渣液，故称之为渣液形成材料。

2. 覆盖剂配方

（1）HM-1型覆盖剂配方（见表4-162）

表 4-162 HM-1型覆盖剂配方（质量份）

粉煤灰	鳞状石墨	膨胀珍珠岩	铝硅铁粉	酸化石墨
41~48	22~25	10	10	10~17

注：1. 化学成分（质量分数,%）：SiO 41~48，Fe_2O_3 6.62，Al_2O_3 10.64，CaO 8.74，MgO 1，K_2O 1，Na_2O 1，C 23~30。

2. 各组分的作用：酸化石墨—高温下体积快速分层膨胀，使覆盖剂具有良好的铺展性；浮在钢液上面形成一个绝热层。

低碳鳞片石墨—增加覆盖剂的铺展性；形成液渣层、置换层、保温层，防止渗碳。

膨胀珍珠岩—减轻堆密度，形成均匀分布的微气孔，降低辐射热损失和对流热损失；因其耐火度低，在高温下呈玻璃相存在，会导致保温冒口轻度烧结，有利于保温冒口套成块状脱落。

铝硅铁粉及其他—使覆盖剂温度迅速提高，缓解冒口顶部的热量损失；含有少量催化剂、氧化剂，用于缩短引燃时间，并使铝氧化放热反应进行得更完善。

（2）XF型和MF型冒口覆盖剂 主要由硅线石、铝粉、膨胀珍珠岩、碳素石墨等材料配制而成。

（3）复合型冒口覆盖剂 由漂珠、高温炉渣、酸化石墨、粉状石墨、固体水玻璃、氟石粉、氧化铁粉等配制而成。

4.10 配砂守则及安全操作要点

4.10.1 配砂工艺守则

配砂工艺守则见表4-163。

表4-163 配砂工艺守则

序号	关键环节	工艺守则
1	开机前的检查	所用设备是否安全、可靠、运转正常;加入足够润滑油,并经空载试车;刮板、滚轮与底盘间隙是否适当
2	开机与加料	先开动混砂机,后加料
3	加料顺序	按工序规定的顺序加料,未经许可不能随意变动
4	定量加料	造型材料要定量加入,如发现定量加料机构失灵,必须先修复后,方可使用
5	混砂量的控制	每次混砂量不要超过混砂机规定的容量,如S116型混砂机为600kg、S114型为400kg。混砂过程不得半途停车
6	混砂时间	必须符合工艺要求
7	做到三准确	混砂过程应做到:配料准确、水分准确、混砂时间准确
8	坚持自检	混砂时要勤自检,及时发现问题,不合要求的型砂和芯砂不得使用
9	更改砂号	更换砂号时,混砂机内应放净,装面砂的砂斗应清理干净后使用
10	取样检验	按规定取样检验型砂性能
11	型砂存放	混好的型砂要松散处理、调匀处理,存放型砂要采取措施防止水分的蒸发

4.10.2 配砂工安全操作要点

配砂工操作要点见表4-164。

表4-164 配砂工操作要点

序号	安全方面	安全操作要点
1	混砂机安全	1)混砂机开动之前,一定要先检查机内是否有人或其他杂物 2)混砂机在运转过程中,一定不要直接用手伸入机内取样,而要用取样勺取样 3)混砂机在检修前必须要做到:一要把电源先切断;二要在电源开关上挂上醒目的警示牌;三要有人监护,然后才能进行检修工作
2	提升机安全	4)开动提升机之前,先检查一遍,并空转1min 5)提升机的地坑门应随时关闭
3	带式输送机安全	6)开动带式输送机前,必须先用信号联系 7)禁止在带式输送机上睡觉和休息 8)不准在带式输送机上行走 9)带式输送机运转时禁止加油 10)修理和清扫时,带式输送机必须停车 11)带式输送机打滑或跑偏时,必须停车后才能处理

第 5 章　砂型（芯）的制造

造型、制芯是砂型铸造生产最重要的环节。造型、制芯方法随铸件的结构和技术要求的不同而异，当一铸件具有多种造型方法时，应从保证铸件质量出发，选取最经济、简便、可靠的一种，并采取有效措施，防止铸造缺陷产生。

砂型（芯）按其制造方法的分类见表 5-1。

表 5-1　砂型制造方法的分类

<table>
<tr><th colspan="2">分类</th><th colspan="4">造 型 方 法 名 称</th></tr>
<tr><td rowspan="16">手工造型</td><td rowspan="10">砂箱造型</td><td colspan="2">（1）整模造型</td><td colspan="2">（11）模板造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（2）分模造型</td><td colspan="2">（12）脱箱造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（3）挖砂造型</td><td colspan="2">（13）叠箱造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（4）假箱造型</td><td colspan="2">（14）漏模造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（5）多箱造型</td><td colspan="2">（15）抽芯模造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（6）活砂造型</td><td colspan="2">（16）劈箱造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（7）砂芯造型</td><td colspan="2">（17）组芯造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（8）活块模造型</td><td colspan="2">（18）埋泥芯块造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（9）吊砂造型</td><td colspan="2">（19）实物造型</td></tr>
<tr><td colspan="2">（10）一箱多模造型</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">刮板造型</td><td colspan="4">（20）车刮板造型（绕轴刮板）</td></tr>
<tr><td colspan="4">（21）导向刮板造型</td></tr>
<tr><td colspan="4">（22）骨架模刮板造型</td></tr>
<tr><td rowspan="3">地坑造型</td><td colspan="4">（23）软砂床造型</td></tr>
<tr><td colspan="4">（24）硬砂床造型</td></tr>
<tr><td colspan="4">（25）加固硬砂床造型</td></tr>
<tr><td rowspan="6">湿型砂机器造型</td><td>震击造型</td><td colspan="4">（1）震击造型靠机械震击赋予型砂动能和惯性，紧实成型。铸型上松下紧，需补压</td></tr>
<tr><td rowspan="3">压实造型</td><td>（2）单纯压实造型</td><td colspan="2">1）低压（比压 0.15～0.4MPa）
2）中压（比压 0.4～0.7MPa）
3）高压（比压＞0.7MPa）</td><td>是型砂借助于压头或模样所传递的压力紧实成型</td></tr>
<tr><td>（3）单向压实造型</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>（4）差动压实（双向压实）</td><td colspan="3">先顶压（上压），再模样面补压（下压），最后压头终压</td></tr>
<tr><td rowspan="2">震压造型</td><td>（5）普通震压造型</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>（6）微震压实造型</td><td colspan="3">应用较多的是微震压实造型</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">分类</th><th colspan="3">造　型　方　法　名　称</th></tr>
<tr><td rowspan="4">湿型砂机器造型</td><td>射压造型</td><td>（7）顶射
（8）底射
（9）侧射</td><td colspan="2">射压造型是利用压缩空气将型砂以很高速度射入砂箱而得到紧实</td></tr>
<tr><td rowspan="2">气流紧实造型</td><td>（10）气流冲击造型</td><td>1）空气冲击
2）燃气冲击</td><td>利用具有一定压力的气体瞬时膨胀释放出来的冲击波作用在型砂上，在冲击力和触变作用下，迅速成型</td></tr>
<tr><td>（11）静压造型</td><td colspan="2">其过程是箱内填砂→气流加压，穿过型砂，经模板上通气塞排出→压实板上部加压紧实</td></tr>
<tr><td>抛砂造型</td><td colspan="3">（12）抛砂造型是用机械方法将砂团高速抛入砂箱，砂层在高速砂团的冲击作用下得到紧实</td></tr>
</table>

5.1　手工造型制芯

手工造型（芯）其工装简单，适应性强，成本低，广泛用于单件、小批，或成批生产的各类铸件，在重、大型铸件和复杂铸件的生产中应用更为普遍。

5.1.1　常用工具、量具及工装

1. 常用工具、量具（见表 5-2、表 5-3、表 5-4）

表 5-2　常用造型工具

序号	造型工具名称	作　　用
1	砂舂子	用于舂实型砂。砂冲的一端为扁头，用于舂实模样周围及狭窄部位的型砂，另一端是平头，用于舂平砂型表面
2	风舂子（即风动捣固器）	它由压缩空气带动，用于舂实较大的砂型（芯）。工作时，打开控制手柄，压缩空气经过与橡皮管相连的管接头进入，通过进气阀与自动换向阀，使锤头不断上下运动，以完成舂砂工作
3	刮板（即刮尺）	用于修整较大的平面和刮去高出砂箱的型砂，当用于刮去高出砂箱的型砂时，刮板的长度应大于砂箱的宽度
4	通气针（即气眼针）	分直的和弯的两种。用铁丝或钢条制成。用于在砂型（芯）中扎出通气的孔眼，使浇注时产生的气体排出
5	起模针和起模钉	用于起出砂型中的模样。起模针的一端是光锥形，用来起小的模样。起模钉的一端是螺纹形，用来起较大的模样
6	其他必备工具	铁锹、筛子、钢丝钳、活动扳手、掉笔、排笔、皮老虎、粉袋、手电筒等

表 5-3　常用修型工具

序号	修型工具名称	特　　点	作　　用
1	砂刀（刮刀、镘刀）	一般用工具钢制成。头部形状有平头、圆头、尖头	1）修整砂型（芯）的较大平面 2）开挖浇口、冒口 3）切割大的沟槽 4）向砂型插钉时，将钉子按入砂型
2	砂钩（提钩）	用工具钢制成	1）修整砂型（芯）深而窄的底面或侧壁 2）提出落入型腔底部的散砂
3	半圆（平光杆、竹片梗）		用于修整垂直弧形的内壁和它的底面
4	圆头		用于修整圆形及弧凹槽
5	法兰梗（光槽镘勺）	一般用钢或青铜制成	1）修整砂型（芯）的深窄底面 2）管子两端法兰的窄边
6	压勺	多用钢制成。压勺的一端是弧面，另一端是平面，勺柄斜度呈 30°	1）用于修整砂型（芯）较小平面 2）开挖较小的浇道
7	双头铜勺（秋叶）	是一种铜制的两头均为勺形的修型工具	1）修整曲面 2）修整窄小的凹面
8	成形镘勺	一般用钢或铸铁制成，有的用青铜制成	1）修整和镘光砂型（芯）的内外圆角、方角 2）修整砂型的弧形面

表 5-4　手工造型常用量具

序号	常用量具名称		作　　用
1	钢板尺	造型工常备 1000mm 规格的钢板尺	测量长度、外径、内径等
2	卷尺	常备 1000mm 和 2000mm 两种规格	测量长度
3	卡钳(与钢板尺配合使用)	外卡钳	用于测量外径
		内卡钳	用于测量内径、凹槽宽度
4	铁角尺	由尺柄和尺体两个相互垂直的部分组成，尺体厚度为尺柄厚度的 1/3	1）用于在砂型上划线 2）检查被测物体的垂直度
5	两脚规	由量尺和两个可移动的游标构成	用于在砂型表面划圆，或划弧
6	水平仪	有长方形和正方形两种	用于测量被测平面是否水平。使用时，将水平仪放在被测平面上，玻璃管中气泡偏向右侧，则说明平面右侧偏高；反之偏低。被测平面处于水平位置，气泡应处于中间

（续）

序号	常用量具名称		作　　用
7	砂型表面硬度计		用于测量砂型和砂芯的表面硬度。一般硬度的砂型读数为 70～80，紧实度高的砂型，读数为 85～90

2. 工装——模样、模板与砂箱

手工造型的主要工艺装备是模样、模板与砂箱。其质量直接影响到铸件精度、造型生产率和劳动强度。

（1）模样与模板　造型常采用的模样有木模、金属模（铝合金、铜合金、铸铁、铸钢等）、塑料模、菱苦土模、泡沫塑料模、石膏模、水泥模等。手工造型以木模应用最广。金属模具有强度高、尺寸精确、表面光洁、耐磨耐用等优点，一般用于大量、成批生产。

造型工在造型之前，在读懂铸造工艺图和工艺卡的基础上，对模样应作必要的质量检查，见表 5-5。

表 5-5　模样的检查

序号	检查项目	重　点　检　查　内　容
1	模样的形状和尺寸	1）检查轮廓尺寸及主要的中心尺寸 2）模样上的芯头尺寸和芯盒内的芯头尺寸是否匹配 3）模样的起模斜度是否合理 4）芯头需不需要定位 5）模样上有无缺角、变形、碰伤等，其损坏程度如何
2	模样的装配	1）模样的分模面，芯盒的分盒面，其位置和方向是不是正确、平整 2）定位销用的是否合理（单件小批生产的用竹销，或硬木销；成批大量生产的用金属销） 3）两半模样上的定位销与孔配合松紧是否合适，销和孔的磨损程度如何 4）模样上活动部分连接的松紧程度是否合适，安装位置是否偏斜 5）模样的起模装置和吊运装置安装是否正确。对大、中型木模必须装上用于造型时将木模样从砂型中起出的起模攀，装上用于木模搬运的吊攀。吊攀和起模攀方向相反，故往往两者做成一体 6）敲模装置。造型起模时必须先松模。为防止松模时敲坏木模，对常用的木模分模面上装有敲模装置
3	模样的结构	1）木材拼接和搭接处的强度能否满足造型要求 2）骨架的横向、纵向撑挡是否牢固 3）补砂挡，对面积大、厚度薄、容易变形，或木模的结构无法加固时，常采用补砂挡的形式加固木模，使之减少翘曲变形。补砂挡在起模方向必须作出较大的起模斜度，并作出标记，以示在造型时以补砂方法加以填平

（续）

序号	检查项目	重　点　检　查　内　容
4	数量是否齐全	1）芯盒数量 2）浇、冒口数量 3）刮板件数 4）模样构件数
5	模板（底板）	1）模底板是否平直 2）模底板大小是否符合要求

模板是由模底板、模样、浇口、冒口及定位销等装配而成（也有整铸的）的。模底板的工作面形成铸型的分型面；模样形成铸件的外轮廓与浇、冒口一起形成铸型型腔。模板有木质模板和金属模板之分。手工造型采用模板造型，能提高生产率、铸件尺寸精度和质量，适于小批、成批生产中应用。

（2）砂箱

1）砂箱分类。手工造型用砂箱其分类方法较多。如可按造型方法分、按砂箱重量和尺寸分、按砂箱结构分、按使用方法分等。其中，按砂箱材料和制造方法的分类见表5-6。

表5-6　砂 箱 分 类

制造方法	砂箱材料		特　点	应　用
整铸砂箱	铸钢		根据需要车间内可自行制造。使用方便	广泛用于砂箱造型
	铸铁	球墨铸铁		
		灰铸铁		
	铝合金		轻便，成本较高	多用于小件脱箱造型
装配砂箱（栓接砂箱）	铸钢		箱壁、箱带等加工后用螺栓连接装配而成	用于小批生产的大型砂箱
	铸铁			
	木质			用于小件脱箱造型
焊接砂箱	型钢、钢板、铸钢元件		耐用、制造周期短	用于单件、简易临时砂箱

2）手工造型用砂箱的结构特点

①砂箱形状有方形、长方形、圆形或其他形状，多为整铸式，也有用钢材或其他材料焊接而成，以满足不同的工艺需求。

②砂箱多为单壁结构，箱壁上设有数量很多的排气孔。

③砂箱多数有箱带。

④砂箱长度方向的两端设有手柄、吊轴或吊环，以便搬运、翻箱、合型、落砂操作。设有箱耳，用以安装定位销和定位套，以确保合型的定位精度。

⑤砂箱宽度方向上设有紧固结构，如用箱卡紧固砂箱的楔形箱耳。

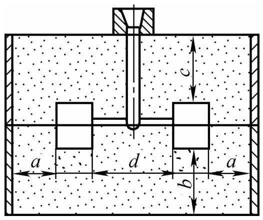
3）砂箱及其附件的材料见表 5-7。

表 5-7　砂箱及其附件的材料

零件名称	材料		热处理
	手工砂箱造型	脱箱造型	
砂箱本体	HT150、HT200、HT250 QT400-15 ZG230-450、ZG270-500	ZL104 等或木材	自然时效，或退火处理
定位销	45、20、15 钢	ZCuSn5Pb5Zn5	20、15 钢渗碳，深度 >0.8mm 45 钢淬火，硬度 45～50HRC
定位衬套	45、20 钢	ZCuSn5Pb5Zn5	
紧固箱卡、螺栓	45 钢、20 钢、Q235A	箱耳、手柄、手柄架用 ZCuSn10Pb1	
手柄、吊轴		滑块、滑座等用 20 钢、Q235A	

4）砂箱内框尺寸的确定。砂箱尺寸一般用砂箱内框的长、宽、高尺寸来表示。砂型箱内框尺寸是根据零件工艺布置图和吃砂量来确定的。吃砂量就是模样（包含浇、冒口）边沿到砂箱的内壁、箱顶、箱底、箱带之间的距离。吃砂量的选择可参考表 5-8。

表 5-8　最小吃砂量　（单位：mm）

<table>
<tr><td>简图</td><td colspan="3">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">模样平均轮廓尺寸</td><td colspan="3">吃砂量</td></tr>
<tr><td>a</td><td>b 和 c</td><td>d</td></tr>
<tr><td>滑脱砂箱</td><td>≥20</td><td>30～50</td><td rowspan="2">为一般砂型中模样高度的 $\frac{1}{2}$</td></tr>
<tr><td>≤400</td><td>30～50</td><td>40～70</td></tr>
<tr><td>400～700</td><td>50～70</td><td>70～90</td><td rowspan="4">为一半砂型中模样高度的 $\frac{1}{2}$～$1\frac{1}{2}$</td></tr>
<tr><td>700～1000</td><td>70～100</td><td>90～120</td></tr>
<tr><td>1000～2000</td><td>100～150</td><td>120～150</td></tr>
<tr><td>2000～3000</td><td>100～150</td><td>150～250</td></tr>
</table>

（续）

模样平均轮廓尺寸	吃　砂　量		
	a	b 和 c	d
3000～4000	100～150	200～250	为一半砂型中模样高度的$\frac{1}{2}$～$1\frac{1}{2}$
>4000	150～200	>200	

注：1. 模样平均轮廓尺寸 =（在分型面处模样的最大长度 + 最大宽度）/2。
2. b 和 c，一般取 $b>c$。
3. 横浇道到箱口的吃砂量为（0.8～1）a。
4. 当模样的轮廓是芯头时，旁吃砂量可减少 1/3～1/2，顶吃砂量可减少 1/2，个别模样的芯头在砂箱长度方向上特别伸出时，可不留吃砂量。
5. 箱带下端和模样之间的吃砂量一般为 25～40mm，而大铸件可留 40～80mm。
6. 浇冒口和箱壁、箱带之间的吃砂量一般为 50mm 以上。

通用砂箱的规格系列见表 5-9。当按模样尺寸和吃砂量计算出砂箱尺寸后，可按表 5-9 中的规格选择数值靠近的尺寸。

表 5-9　生产中应用较多的通用砂箱规格　　（单位：mm）

长度 A	宽度 B										高度 h						
	250	300	350	400	450	500	600	650	700	750	100	125	150	175	200	250	300
300	●	●										●	●				
350	●		●										●		●		
400	●	●		●							●	●			●		
450	●		●		●								●				
500		●		●		●						●	●		●		
550		●		●	●									●	●		
600					●	●	●						●		●		
650				●				●					●		●		
700			●				●							●	●	●	
750				●				●							●	●	●
800						●			●						●	●	
900						●		●		●					●	●	●

长度 A	宽度 B											高度 h					
	650	700	750	800	900	1000	1100	1200	1400	1500	1800	200	250	300	350	400	450
1000				●	●	●							●	●			
1100				●	●	●						●	●				
1200	●			●		●		●				●	●	●			
1400					●									●		●	

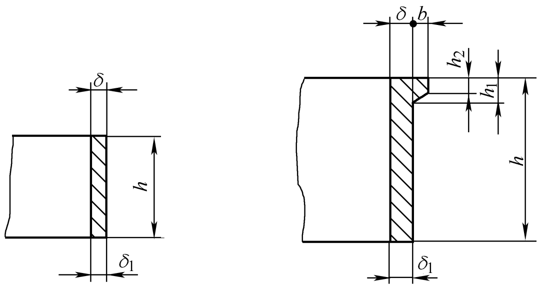
（续）

长度 A	宽度 B											高度 h					
	650	700	750	800	900	1000	1100	1200	1400	1500	1800	200	250	300	350	400	450
1500						●		●		●				●	●	●	
1600																	
1800					●			●			●			●	●	●	
2000								●		●	●		●	●	●	●	●
2200																	
2400																	
长度 A	宽度 B										高度 h						
	1500	1600	1800	2000	2500	2800	3000	3500	3700	4000	300	350	400	450	500	550	600
2500	●		●	●	●						●	●	●	●		●	
2600		●		●										●	●		
2800		●				●							●	●	●	●	
3000	●			●	●		●					●	●		●	●	
3250																	
3500			●			●		●					●		●		
4000				●	●		●		●				●		●		700 ●
4500			●		●								●		●		●
5000					●		●	●					●		●		
6000							●			●				●	●		●

5）箱壁尺寸。单件小批生产手工造型用的简易砂箱箱壁的形式和尺寸见表 5-10。大批量生产手工造型用的砂箱箱壁的形式和尺寸见表 5-11。

表 5-10　简易砂箱箱壁的形式和尺寸　　　　（单位：mm）

图示



Ⅰ型(用于较小的砂箱)　　Ⅱ型(用于较大的砂箱)

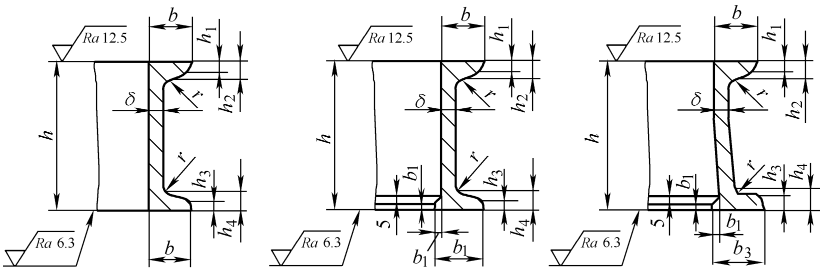
（续）

砂箱内框平均轮廓尺寸 $(A+B)/2$	h	δ	δ_1	b	h_1	h_2
≤500	120 ~ 200	12 ~ 15	10 ~ 13	—	—	—
501 ~ 750	150 ~ 300	18 ~ 22	15 ~ 18	—	—	—
751 ~ 1000	200 ~ 300	28 ~ 30	25 ~ 27	—	—	—
	301 ~ 400	25 ~ 28	22 ~ 25	—	—	— =
1001 ~ 1500	250 ~ 300	30 ~ 35	27 ~ 32	25	30 ~ 35	27 ~ 32
	301 ~ 450	28 ~ 32	25 ~ 28	25	30 ~ 35	27 ~ 32

注：A—砂箱内框长度；B—砂箱内框宽度。

表 5-11　大批量生产手工造型用的砂箱箱壁的形式和尺寸

（单位：mm）



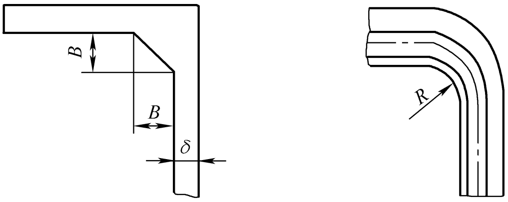
Ⅰ　　Ⅱ　　Ⅲ

砂箱内框平均尺寸 $(A+B)/2$	材质	h	δ	b	b_3	h_1	h_2	h_3	h_4	b_1	r
≤500	铸钢	100 ~ 300	6 ~ 8	20	30	8	10	15	20	10	5
	球墨铸铁		7 ~ 10	22	32	10	12	17	22	10	5
	灰铸铁		8 ~ 10	25	35	12	15	20	25	10	5
501 ~ 750	铸钢	100 ~ 400	8 ~ 10	25	35	10	12	20	25	10	5
	球墨铸铁		10 ~ 12	30	42	12	15	22	27	10	5
	灰铸铁		12 ~ 15	35	50	15	18	25	30	10	5
751 ~ 1000	铸钢	150 ~ 400	15	30	55	15	20	20	25	10	10
	球墨铸铁		17	35	60	17	22	22	27	10	10
	灰铸铁		20	40	70	20	25	25	30	10	10

注：A——砂箱内框长度；B——砂箱内框宽度。

6）箱壁加强肋。为减小砂箱壁厚又不影响砂箱的强度和刚度，在砂箱箱壁外侧可设置纵向和横向加强肋。应注意的是，加强肋的位置不能妨碍砂箱的定位和紧固。

7）箱壁转角。砂箱转角处是应力集中的地方，因此，手工造型砂箱通常设计成 45°倒角过渡，机器造型砂箱采用圆角过渡，如图 5-1 所示。

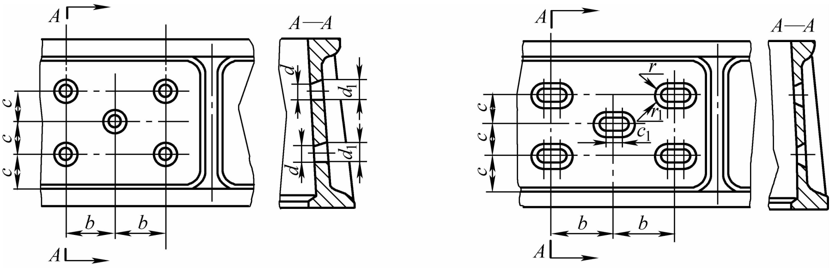


a)　　　　b)

图 5-1　砂箱四角的过渡结构形式

a）倒角过渡　b）圆角过渡

8）箱壁排气孔。大、中型砂箱箱壁上需设计出均匀分布的排气孔，以便排除烘干或浇注时铸型内产生的气体。排气孔形状为内小外大的锥形圆孔或腰圆形孔，交错排列，以减少对箱壁强度的削弱，如图 5-2 所示。



a)　　　　b)

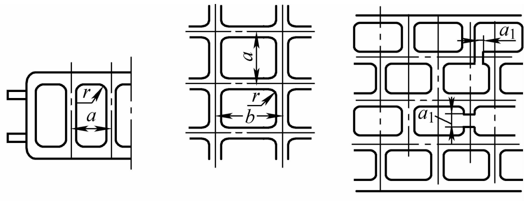
图 5-2　砂箱壁排气孔

a）圆形排气孔　b）腰圆形排气孔

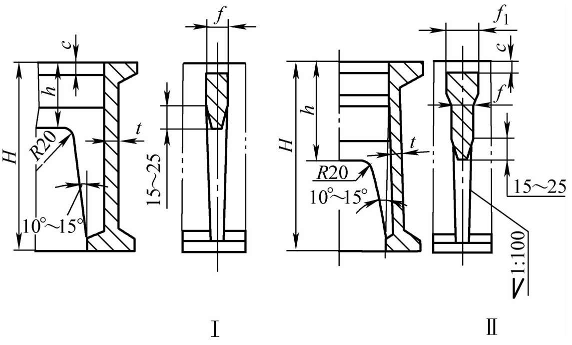
9）砂箱箱带。合理布置箱带，可以增加砂型的强度和砂箱刚度。小砂箱常用横箱带，中、大型砂箱多用十字箱带，特大砂箱最好采用错位的十字箱带。为减少砂箱铸造应力，在砂箱两端可把箱带做出断口。箱带布置应留出浇口、冒口、通气针、通气芯头、压砂板等工艺位置。

箱带的布置尺寸和截面尺寸见表 5-12。

表 5-12　箱带的布置尺寸和截面尺寸　　　　（单位：mm）

箱带布置图	 Ⅰ小型砂箱横箱带　Ⅱ十字箱带　Ⅲ错位的十字箱带

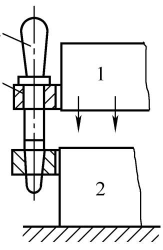
（续）

箱带截面图					
内框平均尺寸 $(A+B)/2$	箱带布置尺寸				箱带截面尺寸
	a	b	r	箱带断口 a_1	
≤500	130~180	—	5~10	—	$f_1=(1.2\sim1.5)t$ $f=(0.8\sim1.0)t$ $c=t$
501~750	150~200	150~250		—	
751~1000	200~250	200~300	10~15	—	
1001~1500	200~250			20	
1501~2000	250~300	250~350		25	
2001~2500	250~300		15~20	30	
2501~3500	300~350	350~450		35	
3501~5000	350~400	400~500		40	
>5000	350~400			50	

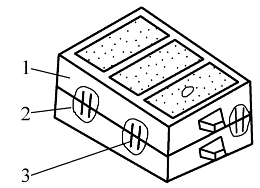
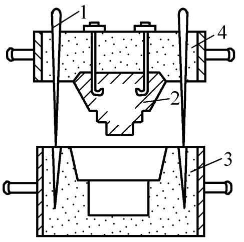
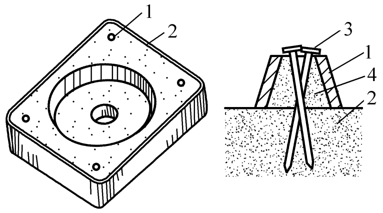
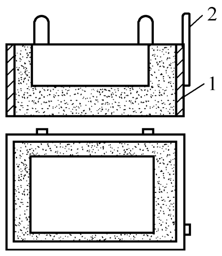
注：A—砂箱内框长度；B—砂箱内框宽度。

10）砂箱的定位方法。在铸造生产中，砂箱与模板、上箱与下箱都有一定的定位要求。应根据生产实际，选用合适的定位方法，防止错箱，以保证铸件的尺寸精度。手工造型砂箱常用的定位方法见表5-13。

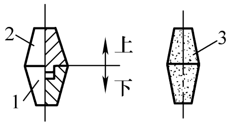
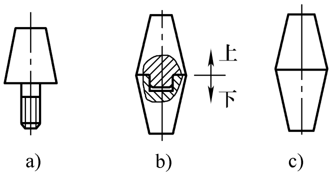
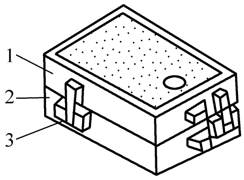
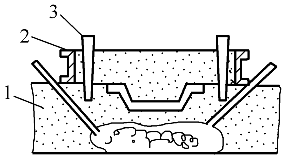
表5-13　手工造型砂箱常用的定位方法

序号	定位方法	要点及应用	简　　图
1	定位销定位	定位销前端呈锥形，便于插入定位销套定中，后部呈柱形，能精确定位 定位销套镶在砂箱箱耳中 造型时，上箱通过定位销定位合在下箱上，开箱后，仍通过这个定位销定位合型 应用于大批量生产	 1—上型　2—下型　3—定位销套　4—定位销

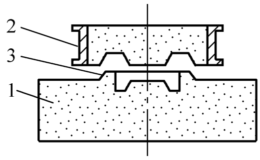
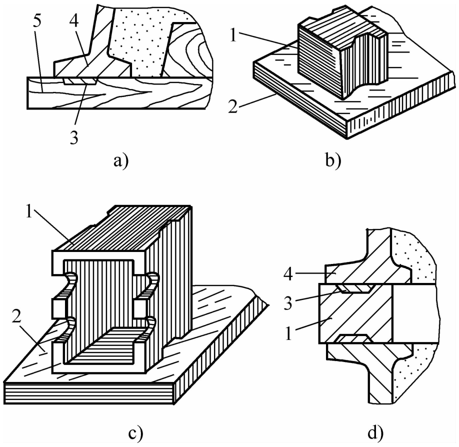
（续）

序号	定位方法	要点及应用	简　　图
2	划线或打泥号定位	上下箱开箱前，在砂箱前、左、右（指造型位置）三个侧面的分型面上下箱壁上，划出细而直的定位线。保证在前后、左右方向上都不发生错箱，可用粉笔划。也可用砂泥粘贴在箱壁上用工具划出线（即打泥号） 用于单件小批生产，手工造型的非标准砂箱	 1—上箱　2—下箱　3—定位线
3	内箱销定位	取两根长度比上箱高度还要长的锥形铁棒作为内箱销，开箱前，在上箱距离最远的两点垂直打入砂型，一直到下型一定深度，然后，拔出内箱销，留下锥孔 合型时先将内箱销插入上型锥孔中，以它引导把上型准确合在下型上	 1—内箱销　2—悬吊砂芯　3—下型 4—上型
4	内箱锥定位	将 3～4 个铁制的内箱锥空心部分填型砂，并敲入长铁钉，使其固定在下型分型面上，然后，放上上箱舂制上型，起模后再合型时，就以内箱锥定位合型 适用于单件小批生产	 1—内箱锥　2—下型　3—铁钉　4—型砂
5	依靠山定位	在下箱垂直的两个箱壁外侧面上，用螺栓固定（或与箱壁一块铸出）三条窄钢板（一箱壁上两条，另一箱壁上一条），板的一端高出砂箱平面，合型时，上型紧贴钢板（称靠山）合在下型上	 1—箱壁　2—靠山

（续）

序号	定位方法	要点及应用	简　　图
6	水玻璃砂定位锥	造下型时，将金属母锥模3～4个置于砂箱4个角内，舂实后翻箱，将金属公锥模放在母锥模上，造上型。开箱后起出公、母锥模，在上、下型留下锥孔 合型前将水玻璃砂锥放入下型锥孔，依此合型	 1—金属母锥模　2—金属公锥模 3—水玻璃砂定位锥
7	型内合型锥形定位销	分箱模板造型时，模板的四角固定有锥销半模（图a），在分型面上留下4个锥销孔，合型时，将4个金属锥形定位销（图c），放入下型的锥孔中露出一半锥销，以此定位合上上箱 若是分模合箱造型，则在造型平板上放好模样和砂箱，将图b所示分开式金属锥销模的下半部分，放在砂箱四角造下型，翻箱后修好分型面。再将图b所示的分开式金属锥销模的上半部分，放在下型分型面的金属锥销模上造上型。开箱后，分别取出上下两半金属锥销模。烘干后合型时，将图c所示的金属锥形定位销放入下型砂锥孔中，依此定位合上上箱	 a）固定在模板上的锥销半模　b）分开式金属锥销模　c）金属锥形定位销
8	楔榫定位	用于脱箱造型的木质砂箱	 1—上箱　2—下箱　3—锥棒
9	锥榫定位	用于地坑造型	 1—地坑砂　2—上砂箱　3—锥棒

（续）

序号	定位方法	要点及应用	简　　图
10	止口定位	用于车板造型 上型和下型的定位止口与砂型同时车出	 1—用车板车出的下型　2—用车板在砂箱内车出的上型　3—车出的定位止口
11	梯形槽定位	用于劈箱造型。模底板上有梯形槽，侧箱上镶有梯形条，造型时砂箱的梯形条卧入模底板的梯形槽内 合型平台两端的立柱上有梯形槽，合型时砂箱上的梯形条与立柱上梯形槽相配合起定位作用 有时端箱的两侧各有一梯形槽，合型时，侧箱上梯形条卧入端箱槽内，使侧箱和端箱定位	 a）砂箱与型板定位　b）、c）扣箱平台立柱 d）砂箱用立柱定位 1—带有梯形槽的立柱　2—造型平台 3—梯形条　4—砂箱　5—型板

11）合型锁紧结构。合型后，上下砂箱一定要锁紧，避免搬运时砂箱错位，或浇注时抬箱。合型的锁紧结构形式有：楔形箱卡锁紧、楔片锁紧销锁紧、螺栓锁紧、螺栓箱卡锁紧等，如图 5-3 所示。

①普通机器造型中、小砂箱，上下砂箱外缘设有对称布置的楔形卡台，用箱卡锁紧（图 5-3a）。

②小批量的中、大型砂箱，多用带楔片的锁紧销（图 5-3b）。

③单件生产的大、中型砂箱，多采用螺栓锁紧结构（图 5-3c）。

④手工造型中小型砂箱，多采用箱卡、螺栓组合锁紧结构（图 5-3d）。

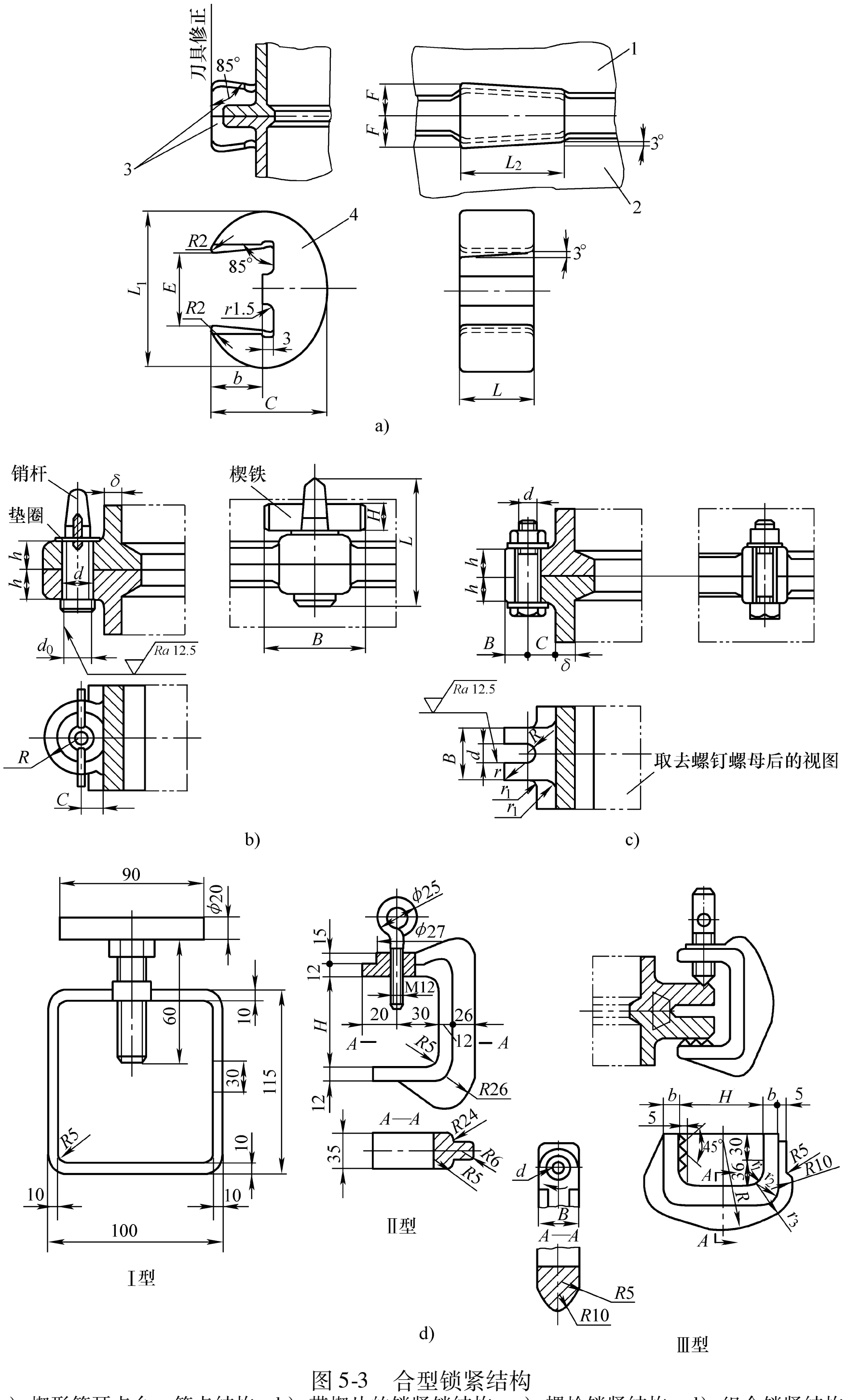


图 5-3　合型锁紧结构

a）楔形箱耳卡台、箱卡结构　b）带楔片的锁紧销结构　c）螺栓锁紧结构　d）组合锁紧结构

1—上砂箱　2—下砂箱　3—楔形箱耳卡台　4—箱卡

12）砂箱的吊运装置。砂箱吊运装置有：箱把、吊轴、吊环等。为了保证安全，需要较大的安全因数。

①箱把。手工造型小砂箱采用箱把，箱把的配制方法见表 5-14。手工小型砂箱箱把的结构尺寸见表 5-15。

表 5-14　箱把的配制方法

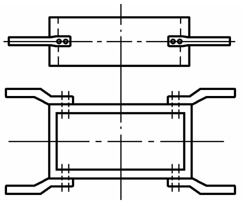
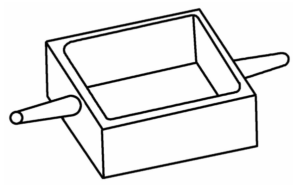
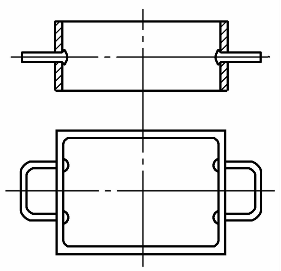
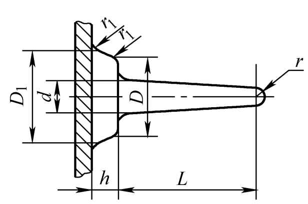
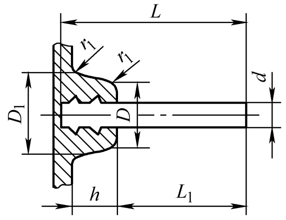
箱把的配制方法	特　　点	简　　图
铆接箱把	用铁条铆在砂箱上。箱把之间的距离等于人的肩宽（300～400mm） 此种箱把最结实	
整铸箱把	在砂箱模样上作出箱把模样，与砂箱同时铸出 此种方法最经济，用于非标准砂箱	
铸入式箱把（熔接箱把）	先把铁条或吊攀埋入砂箱砂型的适当位置，当浇注时，同时把它们熔接在砂箱上 此种方法既结实又经济，多用于标准砂箱上	

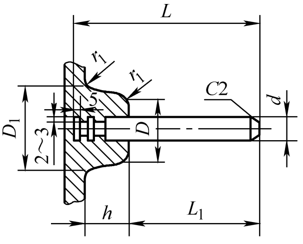
表 5-15　手工小型砂箱箱把的结构尺寸　　（单位：mm）



整铸式



铸入式



铸入式

（续）

砂箱内框平均尺寸 $(A+B)/2$	整铸式箱把				铸入式箱把				
	≤500		501 ~750		≤400	401 ~500		501 ~750	
d	40	45	50	55	20	25		30	
D	60	65	75	85	50	60		70	
D_1	75	80	90	110	60	70		85	
L	110	110	120	120	135	150	170	175	200
L_1	—	—	—	—	100	110	130	125	150
h	10	10	15	15	30	35		40	
r	16	18	20	22	—	—		—	
r_1	5	5	5	5	5	5		8	

②吊轴与吊环。对于大、中型砂箱，由于重量大，需用桥式起重机吊运，在砂箱上设置有供吊运用的吊轴、吊耳或吊环等搬运装置，应视砂箱重量选用其形式、材质和尺寸。

大、中型砂箱采用吊轴，如图 5-4 所示。吊轴分为整铸式和铸入式两种。整铸式又分单独的、与定位箱耳连在一起的两种。一个砂箱一般设 2 个，需要时可设 4 个。

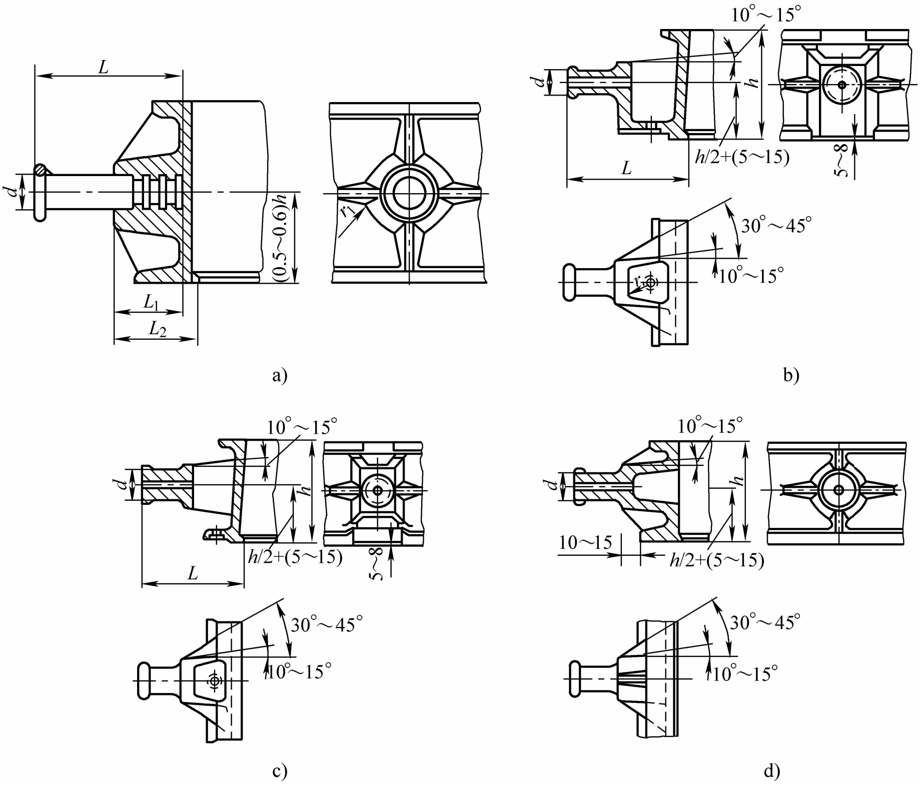


图 5-4　砂箱吊轴的结构形式（材料：15 钢或 Q235-A）

a）铸入式吊轴　b）砂箱高度≤300mm 时的整铸式吊轴　c）砂箱高度 =300 ~400mm 时的整铸式吊轴　d）砂箱高度 h <500mm 时的整铸式吊轴

大、中型砂箱除吊轴外，还常设置 4 ~ 6 个吊环，以便砂箱翻转和吊运。吊环常采用铸入式。吊环如图 5-5 所示。

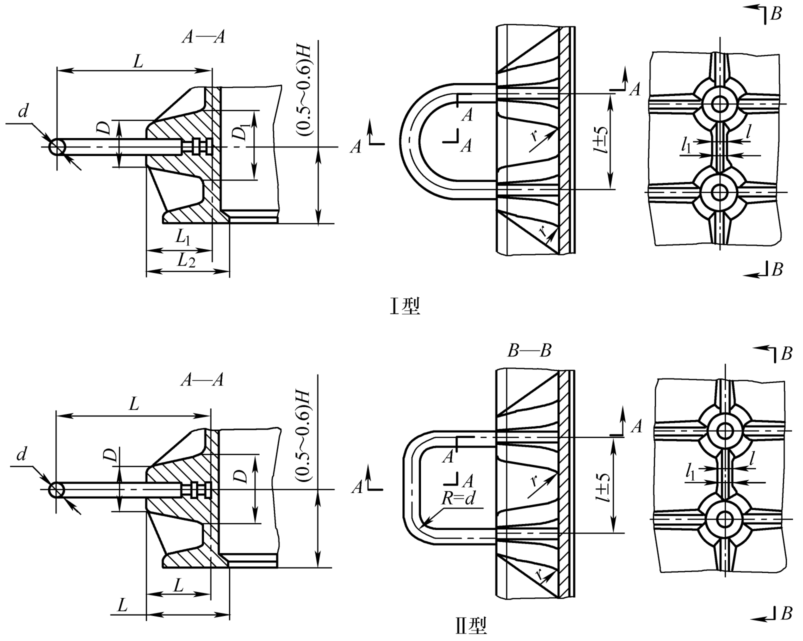


图 5-5　吊环结构（材料：15 钢或 Q235A）

13）砂箱的技术要求及使用守则

①砂箱的技术要求

a. 砂箱毛坯按允许的尺寸偏差和形位公差进行验收。

b. 砂箱的机械加工精度包括分型面平行度、填砂面与分型面平行度、定位销孔中心距公差、定位销孔轴线与分型面的垂直度等，都必须符合要求。

c. 规定定位销孔和导向套内孔的允许磨损范围。

②使用守则

a. 砂箱在使用前应仔细检查箱轴、吊环、箱角、箱壁等关键部位，发现有破裂、损伤等情况时应停止使用。

b. 对于铸钢、铸铁中型砂箱长度方向壁的变形，允许局部向外扩大不超过 15mm，向内不超过 8mm。高压和滑道式砂箱不包括在内。

c. 砂箱定位销孔、定位套内孔的磨损极限见表 5-16。

表 5-16　砂箱定位销孔、定位套孔的磨损极限　　（单位：mm）

定位销孔或定位套内孔（直径或宽度）	20	25	30	35	40
圆孔直径或方槽宽度的磨损极限	+0. 2	+0. 25	+0. 30	+0. 35	+0. 40

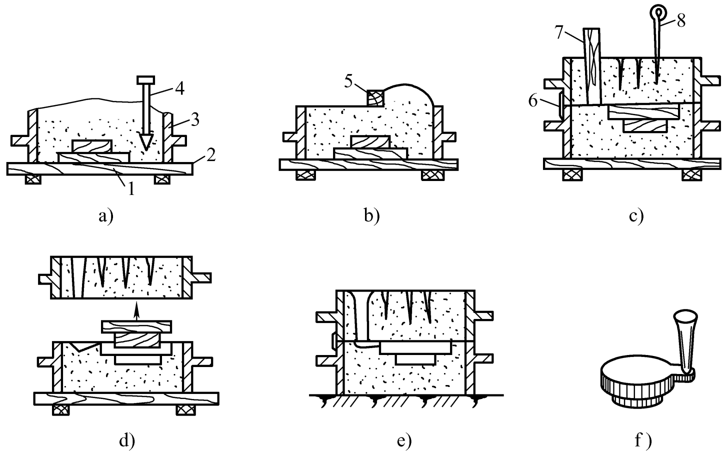
当磨损量超出极限时，允许镶套修复，但不超过两次；高压造型机用砂箱的定位套内孔磨损极限不得超过 +0.2mm；根据产品情况的不同，其磨损极限可适当放大或缩小。

5.1.2 砂箱造型

砂箱造型便于舂实、搬运、翻箱、合型、紧固等操作，适用于各种类型铸件的生产。在铸造生产中应用最为广泛。按所采用工艺装备来分，砂箱造型方法有：两箱造型、多箱造型、劈箱造型、叠箱造型、脱箱造型等，其中，两箱造型的应用最为普遍。按取出模样的工艺方法来分，砂箱造型有以下 19 种造型方法。

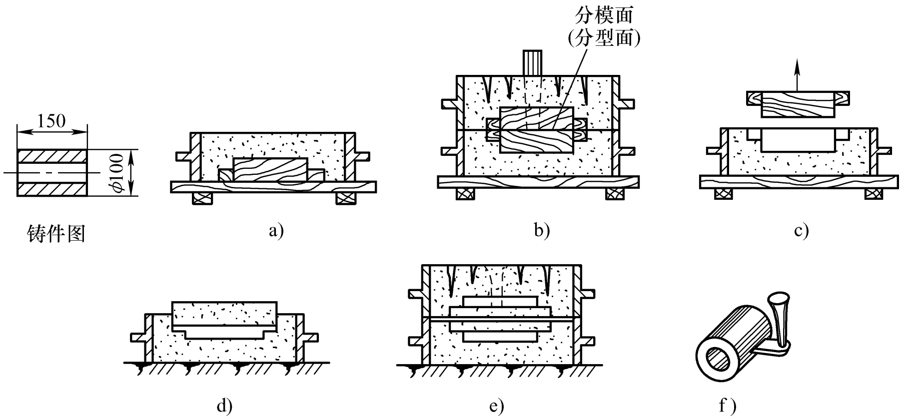
1. 整模造型（见表 5-17）

表 5-17 整模造型方法

简图	 a) b) c) d) e) f) a）填砂、舂砂、造下型　b）刮平、翻箱　c）翻转下型、造上型、扎排气孔、打泥号 d）开箱、起模、开浇道　e）合型　f）带浇道的铸铁件 1—模样　2—模底板　3—砂箱　4—砂舂子　5—刮板　6—泥号 7—直浇口棒模　8—气孔针
方法	用一个整体模样造型。造型时，模样全部放在一个砂箱内，有一个平整的平型面，起模时，不采用任何特殊措施能直接将模样从砂型内取出。这是砂型铸造中最基本的造型方法
特点	模样的最大截面位于模样的一端
应用	适于各种批量生产的、形状简单的铸件

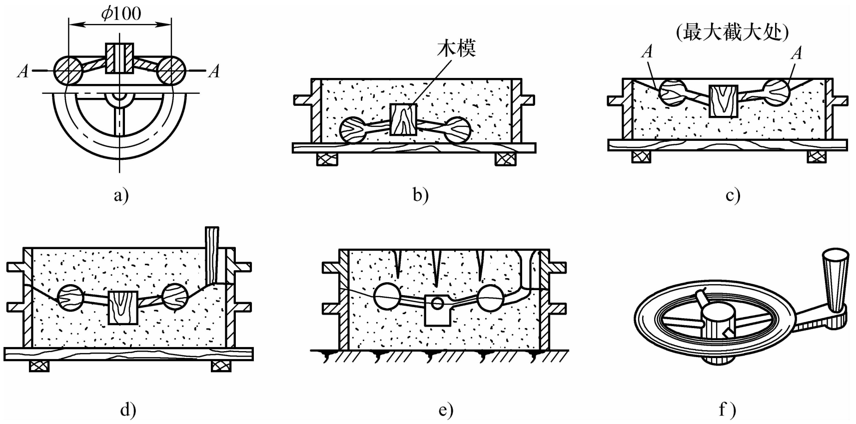
2. 分模造型（见表 5-18）

表 5-18　分模造型方法

简图	 a）造下型　b）造上型　c）开箱、起模、开浇道　d）下芯 e）合型　f）落砂后带浇道的铸件
方法	沿模样外形最大投影面处将模样分成两部分，分别放入上型和下型，分模面和分型面为同一平面，因而模样能从砂型中取出
特点	模样最大截面不在模样的一端。模样上下两部分用销钉定位，销钉应牢固。销钉与销孔配合应既严密又易开合。起模时，上下两半模样的松动量应尽可能一致。合型时，应采用合适的定位方法，以免产生错箱
应用	对采用整模造型不能直接从砂型内起出时，可用分模造型。如：圆柱体、管、套、三通等铸件

3. 挖砂造型（见表 5-19）

表 5-19　挖砂造型方法

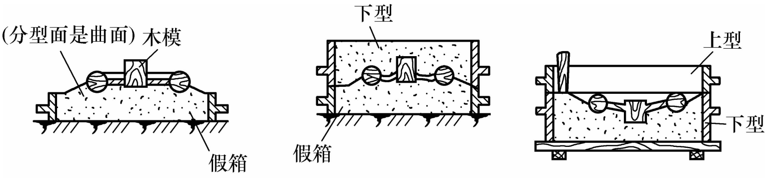
简图	 a）零件　b）造下型　c）翻下型，挖修分型面　d）造上型 e）合型　f）带浇道的手轮铸件

（续）

方法	有些铸件结构，如手轮、盖等，最大截面不在一端，需要采用分模造型。但是，模样又不许可分成两半（分开后某些部位太薄易变形；或模样没有平整的分模面制成分模太费工）。此时可做成整模采用挖砂造型 利用挖砂使分型面位于模样最大截面处，以利起模的一种造型方法
特点	1）挖砂不能过深，也不能过浅，必须准确挖到模样最大截面处，只有如此，模样四周妨碍起模的型砂才能挖掉，以便起模 2）挖砂后形成的分型面应平整，坡度不能太陡，以便开箱 3）挖砂时，不要形成尖而薄的吊砂，以免合型时碰坏型砂进入型腔
应用	对最大截面不在模样一端的整体模样，当单件生产时，可采用挖砂造型

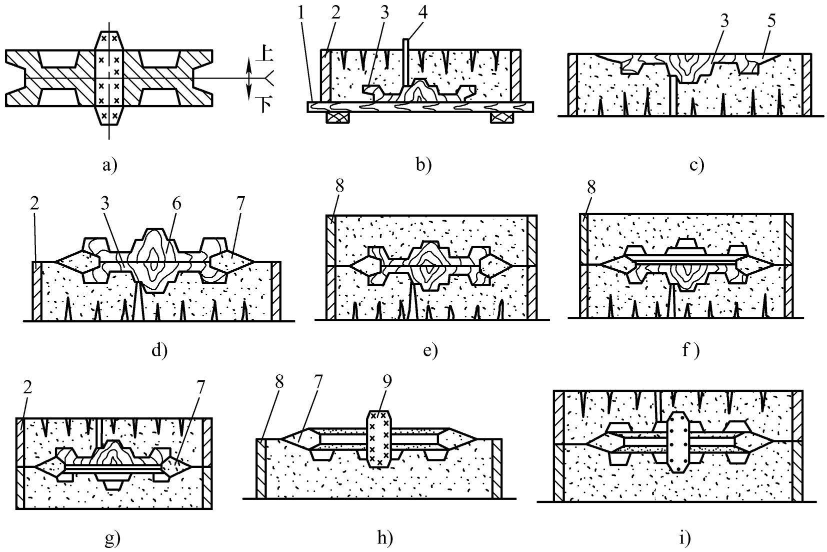
4. 假箱造型（见表 5-20）

表 5-20　假箱造型方法

简图	 a）模样放在假箱上　b）造下型　c）翻转下型，待造上型
方法	造型前，先做一个特制的“假箱”代替造型用的成型模底板，使模样上的“凸点线”处于分型面处的一种造型方法 由于“假箱”只是代替模底板用于造型而不用于浇注铸件，故称这种方法为“假箱造型”
特点	1）假箱应舂的结实，以便多次使用 2）假箱分型面位置必须正确、光整 3）造型用的假箱还可用木材，或其他材料作成成型模底板代替
应用	最大截面不在一端的整体模样，当生产数量较多时，宜选用假箱造型

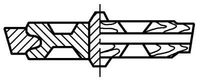
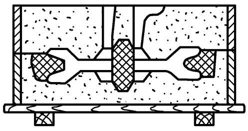
5. 活砂造型（见表 5-21）

表 5-21　活砂造型方法

简图	 a）带轮铸造工艺图　b）放上半模、浇道、造上型　c）取出直浇道模、上型翻转 180°、挖砂　d）撒上分型砂，放上下半模和压铁、制作活砂（活砂上铺一层薄纸）　e）放上下箱、造下型　f）打开下箱，起出下模、合上下型　g）夹紧上下箱、翻箱 180°、活砂落在下型　h）打开上箱、起出上半模、在下型中下芯　i）合型 1—造型摸底板　2—上箱　3—上半模　4—直浇道模　5—挖砂部位　6—下半模　7—活砂　8—下箱　9—砂芯
方法	活砂是造型时，把阻碍起模的那部分砂型制作成可以活动的砂块（砂块是构成砂型的一部分），以使模样能从砂型中取出的造型方法 活砂造型的过程如下： 1）将一半模样放在造型底板上（图 b），制造上砂型 2）将上砂型翻转 180°，并在滑轮周围进行挖砂（图 c 序号 5） 3）撒上分型砂，放上另一半模样和压铁，在滑轮周围制出一圈活砂（图 d），活砂经修正后，撒上界砂，放上下砂箱，制造下砂型（图 e）。将下砂型翻转放在平板上，取出其中半个模样，将下砂型再合到上砂型上（图 f） 4）夹紧上下砂型，一起翻转 180°，活砂落在下砂型上（图 g） 5）吊起上砂型，翻转上砂型，取出另一半模样（图 h） 6）在合上上砂型（图 i）
特点	1）通常应先舂制上型，再舂制活砂，最后舂制下型 2）取模，先翻转下型取出半片模样，再把下型合到上型上夹紧一起翻转 180°，活砂落到下型中，最后，抬起上型取出另半片模样 活砂起到砂芯的作用，此法节省制造芯盒和砂芯。但生产数量较多时，活砂可用砂芯代替
应用	多次开箱与翻箱，使造型操作较为麻烦，生产率低，因此，只适于单件生产。如两个最大截面间距较小的有槽带轮和滑轮的单件生产

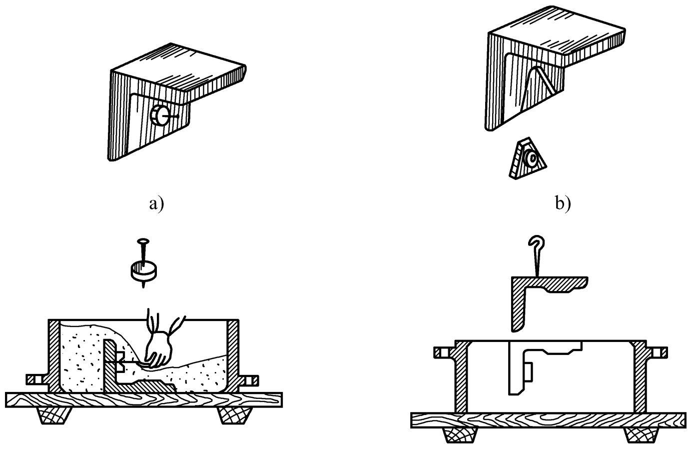
6. 砂芯造型（见表 5-22）

表 5-22 砂芯造型方法

简图	 模样  砂型
方法	用砂芯代替活砂，使造型操作得以简化的造型方法
特点	1）砂芯造型时，砂芯应用强度较高的芯砂制芯，并且使用干芯 2）放置砂芯处的砂型紧实度要高 3）砂芯与砂型要有足够的接触面
应用	批量生产中，替代活砂造型

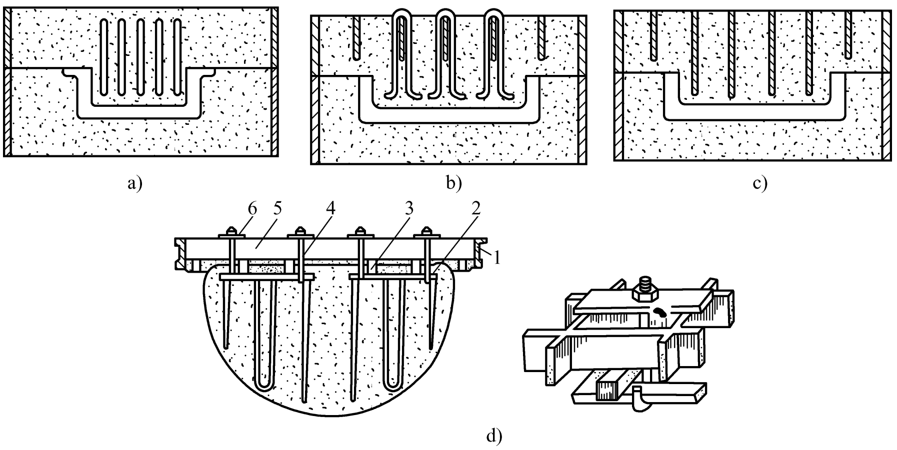
7. 活块造型（见表 5-23）

表 5-23 活块模造型方法

简图	 a）活块用销钉连接 b）活块用燕尾槽连接 c）拔出销钉 d）起模
方法	将模样侧壁上的凸出部分做成可以拆卸的活动模块，即活块。起模时，先起出模样主体，活块留在砂型内，然后，再用折弯的起模针将活块取出，从而解决了起模困难的造型方法
特点	1）活块与模样主体的连接形式有燕尾槽和活动销钉。当用销钉时，一定在活块周围型砂舂实后将活动销钉拔出，否则，模样也无法取出 2）舂砂时，注意不要把活块位置舂偏
应用	适于铸件侧壁上有较小的凸台、搭子等情况

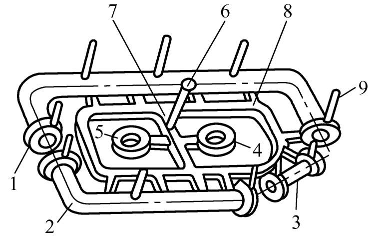
8. 吊砂造型（见表 5-24）

表 5-24　吊砂造型方法

简图	 a）湿型吊砂用木片加强　b）干型吊砂用铁钩加强　c）用箱带加强吊砂 d）大而深的吊砂用骨架加强 1—砂箱　2—骨架　3—垫铁　4—铁钩　5—箱带　6—鱼眼板	
方法	模样的顶部或底部有凹入部分时，则在上型或下型上形成凸起的砂块。凸起的砂块若在下型上，称自带砂芯。凸起的砂块若在上型上，称吊砂	
特点	吊砂处于悬吊状态，强度较低。造型时一般要采取措施加强吊砂	
吊砂的加强措施	1. 湿型吊砂用木片加强（图 a）	1）木片应扁而薄，以增加与型砂的接触面 2）木片的下部在吊砂内，与型腔表面最短距离保持 10mm 左右，木片上部在砂型主体内 3）吊砂较大时，将木片贴紧箱带放置，并再用木块把加固吊砂用的木片抵紧在箱带上
	2. 干型吊砂用铁钩加强（图 b）	铁钩用弹性不大的铁丝弯成，一端挂在箱带上，另一端伸入吊砂中
	3. 用箱带加强吊砂（图 c）	对于定型产品，用专用砂箱上的箱带（随形）加强吊砂
	4. 大而深的吊砂用骨架加强（图 d）	骨架用铁钩通过鱼眼板挂在箱带上，吊砂和箱带之间塞入垫铁，扳紧铁钩上螺母，把铁钩收紧，使骨架稳定

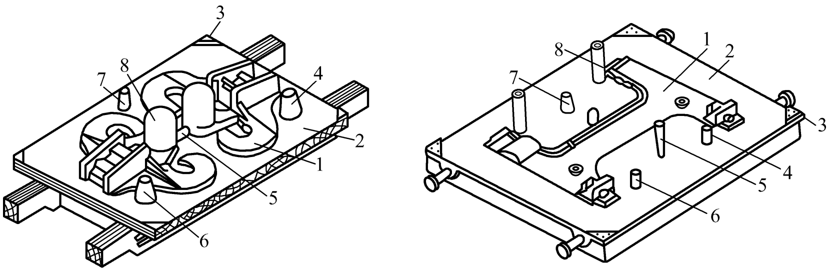
9. 一箱多模造型（见表5-25）

表5-25　一箱多模造型方法

简图	 1～5—铸件　6—直浇道　7—横浇道　8—内浇道　9—出气孔
方法	将多个模样布置在一副砂箱内造型的一种造型方法，即一箱多模造型 表图中，是在一箱中布置了5件不同的模样
应用	只适用于铸件的金属牌号相同、壁厚相近的小型铸件

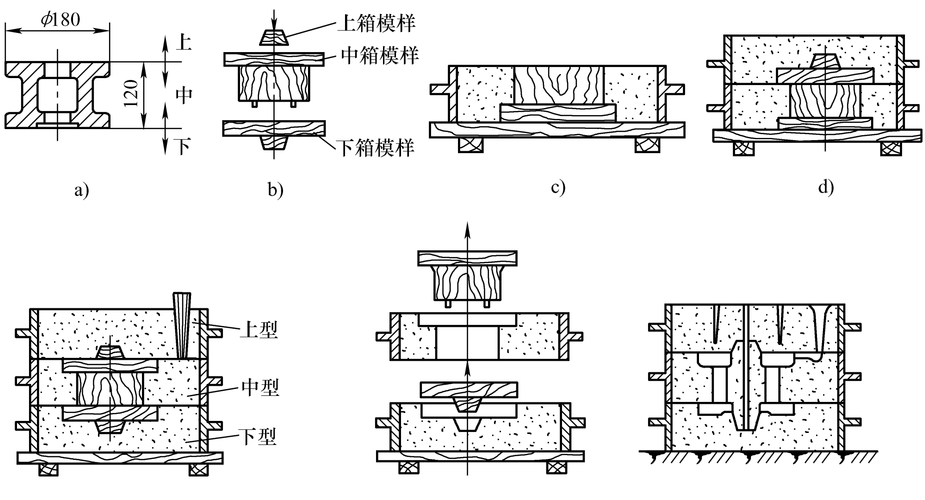
10. 模板造型（见表5-26）

表5-26　模板造型方法

简图	 a)　　b) a）木质模板　b）金属模板 1—模样　2—模底板　3—镶角　4、6、7—定位锥　5—浇道　8—冒口
方法	模板造型又称型板造型，或分箱模板造型，是把模样、浇冒口模、定位装置固定在特制的专用模底板上，分别造上型和下型，然后合型的一种造型的方法 根据铸件尺寸大小，一箱可铸一件或多件
特点	1）模板结构方便造型。在模板上准确地固定着模样、浇冒口模、定位装置，从而减少了要放模样、开挖浇道的工时。在模板四角镶有5～10mm厚的金属角片，造型时砂箱不直接接触模板，而且保证了分型面高出分箱面，这样，既保护了模板，又提高了造型质量 2）可实现上下型分别在两块模板上同时造型（称分箱模板造型），造型后在下型定位锥孔中放入金属质或水玻璃砂质的定位锥销，便可合型浇注。不仅准确合型、减少错箱，而且缩短造型周期
应用	模板造价较高。但简化了造型操作，缩短了造型周期，提高了生产率和铸件质量，因此，对于生产批量较大、尺寸精度要求较高，或专业化生产的铸件特别适用

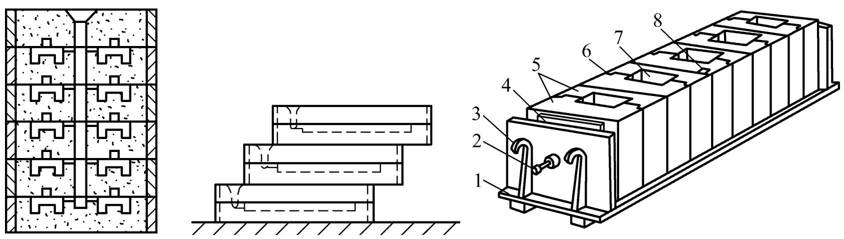
11. 三箱和多箱造型（见表 5-27）

表 5-27　三箱和多箱造型

简图	 a)　b)　c)　d)　e)　f)　g) a）铸件工艺图　b）模样　c）造中型　d）造下型　e）造上型　f）取模　g）合型
方法	有些铸件形状两头截面大而中间截面小，用一个分型面取不出模样，需要从小截面处分模，用两个分型面三个砂箱造型，这种方法即三箱造型 有些铸件形状更复杂，常需更多分型面才能分别取出模样的各部分，这时采用多箱造型
特点	1）先做中型，即圈箱。也有的先舂制下砂型。应根据模样结构区别对待，灵活选用 2）为使中箱模样平稳地放在底板上，将其中的一个芯头做成活动可拆式的
应用	1）适于两个或两个以上分模面（分型面）的铸件 2）有些高大而复杂的铸件，为便于舂砂、修型、安放型芯等工序操作，也采用多箱造型

12. 叠箱造型（见表 5-28）

表 5-28　叠箱造型方法

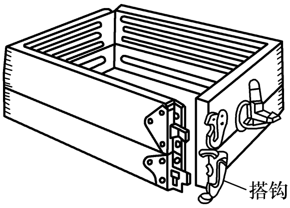
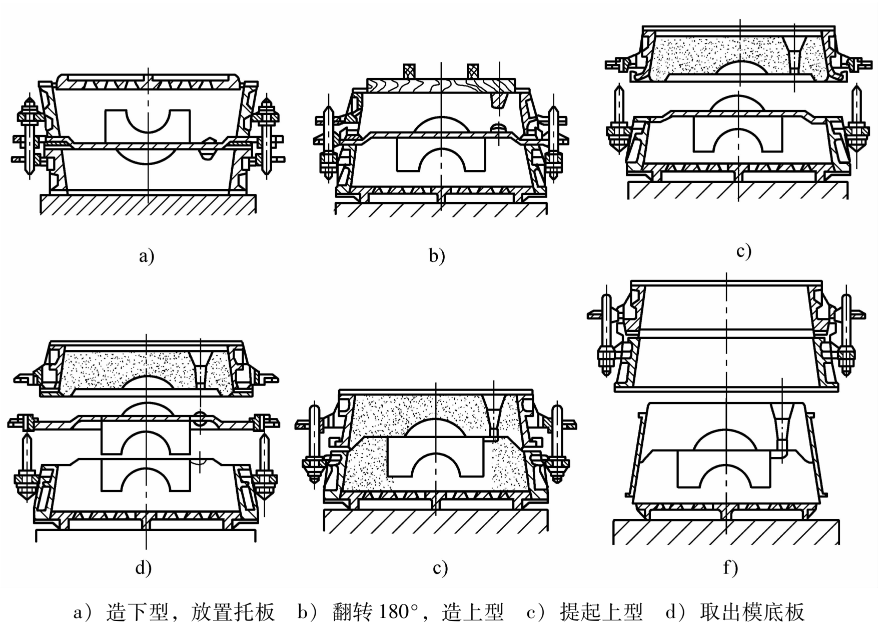
简图	 a)　b)　c) a）立式叠箱造型　b）阶梯式叠箱造型　c）卧式叠铸（水玻璃砂型）

（续）

方法	叠箱造型又称串铸、叠铸或对芯造型。根据铸型组装形式可分为：立式叠铸和卧式叠铸。立式叠铸又分为立式多层叠铸和阶梯式叠铸两种。卧式叠铸用水玻璃砂型组合 叠箱造型就是将造好的砂型叠起来，用一个公用直浇道将金属液自上而下地引入各个型腔。除最上层和最下层的砂型是只有一个面有型腔外，中间每层砂型的上下两面都有型腔，上面构成型腔的下部，下面构成型腔的上部，两块砂型叠加起来，则形成一个完整的型腔
特点	可以用大包浇注小铸件。立式叠箱造型叠箱高度≤1200m。卧式叠铸长度≤1500mm
应用	适用于成批生产的小而薄的铸件

13. 脱箱造型（见表5-29）

表5-29　脱箱造型方法

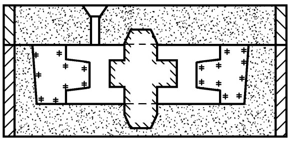
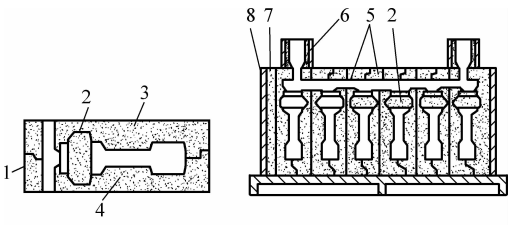
可脱式砂箱简图	
脱箱造型简图	 a）造下型，放置托板　b）翻转180°，造上型　c）提起上型　d）取出模底板 e）合好上型　f）缩进上箱下部活动支承与下箱缩紧、脱箱、套箱

（续）

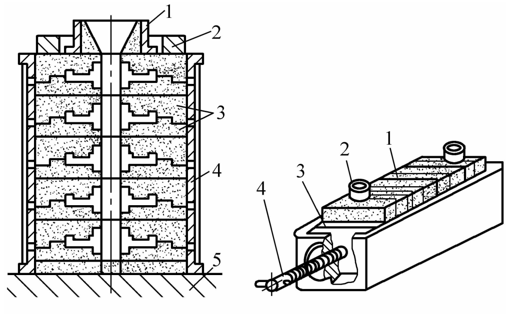
方法	脱箱造型又称活箱造型，或脱活匣子。用的砂箱是组合式砂箱（又称可脱式砂箱）。组合式砂箱能松开与合拢 合拢砂箱，扣上搭钩即可造型。造好型后松开搭钩脱去砂箱，就留下一个无砂箱的砂型。手工脱箱造型的砂型，为防止浇注时砂型损坏造成跑火或型漏，浇注前，应加套箱，或用旧砂填实舂紧
特点	可脱式砂箱的两端有定位装置，内壁上开的有长条形沟槽，以防搬运中砂型从箱内滑出，四角中有两个对角边是刚性固定，另两个对角边中，一个是铰链连接，另一个是搭钩连接。砂箱可以方便地打开与合拢 生产效率高，操作方便灵活，适用性较强，既可用于手工造型，又可用于机器造型的流水线生产
应用	适于湿型、各种批量、小型铸件

14. 组芯造型（见表 5-30）

表 5-30　组芯造型方法

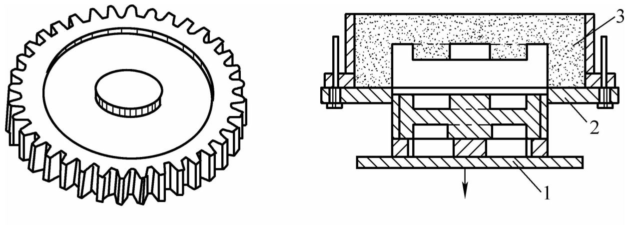
概念		组芯造型又称全芯造型，即铸件的外形和内腔的形状全由烘干的芯子组合而成的一种造型方法	
序号	组芯方法	简　　图	说明
1	在砂型内组芯造型		铸件的外形砂芯和内腔砂芯，依次放入砂型内，以砂型为外围紧固砂芯
2	在砂箱内组芯造型	 a)　b) a）锤头合型　b）砂箱内组芯 1—止口定位　2—砂芯　3、4—半型　5—组型 6—浇口杯　7—填砂　8—砂箱	将砂芯组合后，套上普通砂箱，砂箱与砂芯间隙用型砂填实，以紧固砂型

（续）

序号	组芯方法	简　　图	说明
3	在专用夹具中组芯造型	 a)　　b) a）箱套内组芯 1—浇口杯　2—压铁　3—砂芯　4—套箱　5—底板 b）专用夹具内组芯 1—组芯　2—浇口杯　3—活动板　4—螺杆	批量大的件，在专用夹具中进行组芯造型，以夹紧砂型
4	地坑中组芯造型	在地坑中用刮板刮出砂套和基准面，然后，在其中组芯，砂芯与地坑砂套间隙用型砂填实	
应用		1）成批生产的、模样从砂型中起模困难的、外形复杂的铸件 2）一些特大型铸件，因受生产条件限制，或模样容易变形，也可采用组芯造型	

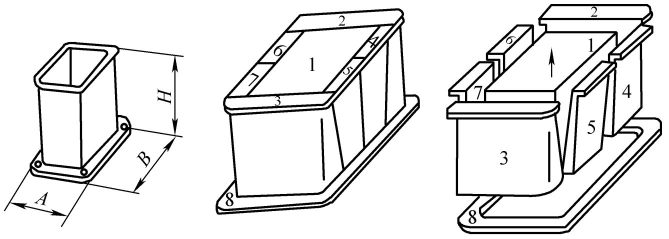
15. 漏模造型方法（见表5-31）

表5-31　漏模造型方法

简图	 a)　　b) a）铸件　b）进行漏模 1—模底板　2—漏板　3—砂型
方法	漏模造型是将模样固定在模底板上，起模时，模样随模底板经漏模板漏出，而具有一定紧实度的型砂被漏模板托住，从而形成形状完整的砂型
应用	适用于产量多，起模困难的铸件。如大量生产的齿轮、散热片、电动机外壳等铸件

16. 抽芯模造型（见表 5-32）

表 5-32　抽芯模造型方法

简图	 a)　　b)　　c) a）铸件　b）组合好的抽芯模样　c）各活块分开后的模样 1—抽芯块　2～8—起模顺序
方法	抽芯模造型又称劈模造型。它是将模样分割，由中心块和周边的若干活块组成（表图所示），在模样各活块贴合面上做出较大的起模斜度，模样四侧不放起模斜度。起模时，先将中间的中心块抽出，而四侧的活块稍加松动便可依次序顺利取出
特点	对轮廓尺寸较大，起模高度较深，特别是尺寸要求较严，而起模又困难的铸件，抽芯模造型具有特殊效果，尤其是用水玻璃 CO_2 硬化砂，或树脂自硬砂造型，更为合适 抽芯模造型由于将模样分成若干块，其贴合面接缝要求严格，制造成本高
应用	适于生产批量较大的中、大型铸件

17. 劈箱造型

（1）方法　劈箱造型是一种特殊的砂箱造型方法，如图 5-6 和图 5-7 所示。劈箱造型是将三箱造型中的中箱和模样相应部分，沿垂直方向劈成几部分，分别造型，再组装而成的造型方法。

中箱通常劈成两部分或四部分，两端的称端箱板，两侧的称侧箱板。箱板和砂芯采用模板造型。然后，将砂芯先在专用的下箱平面上装配，清除灰尘杂物后，再吊装侧箱板和端箱板，并将其紧固。最后放上上箱，形成一个完整的铸型。

（2）特点　劈箱造型的模样和砂箱需劈成几部分，使制造费用增加，生产准备的周期长，操作麻烦，技术难度大。但是它有明显优点：

1）模样劈成几部分后，使舂砂高度大为降低，填砂、舂砂、起模、修型的操作方便省力，显著提高生产率。

2）几块模板通时造型，缩短造型周期。

3）在敞开情况下配箱，使下芯、检测、修整方便，浮砂及杂物易吸除，从而改善劳动条件。

4）提高铸件尺寸精度，减少了铸造缺陷。

（3）应用　适用于成批生产的、大型和结构复杂的、要求高的铸件，例如：机床床身、发动机的缸体等。其他件不宜采用。

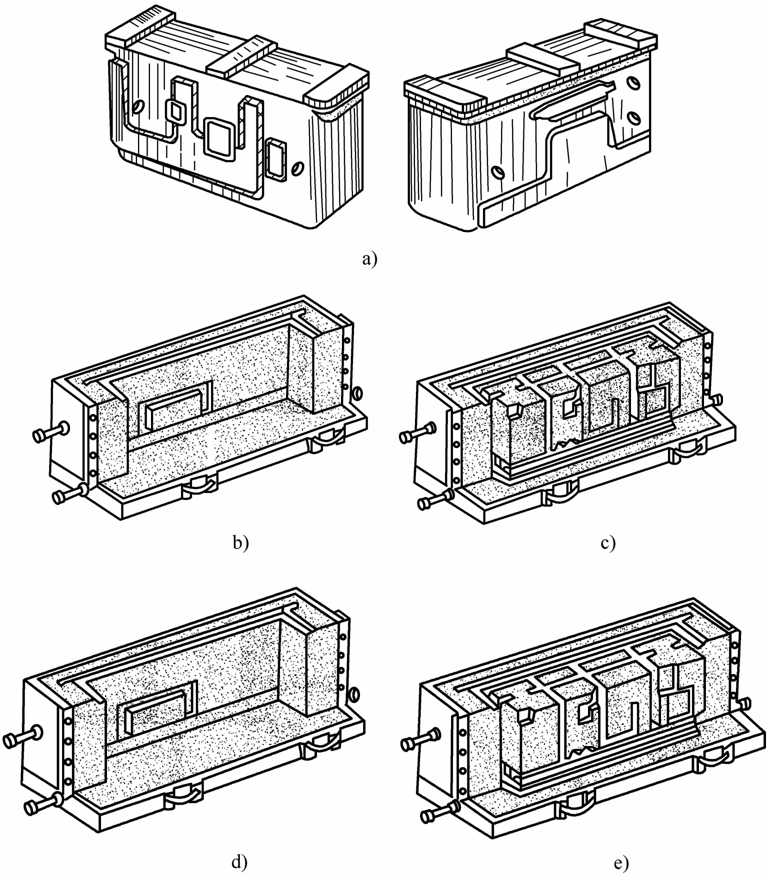


图 5-6　劈箱造型一（中箱劈成两部分）

a）模样　b）在下箱平面上装上后侧型　c）装入砂芯　d）装上前侧型　e）合上上型

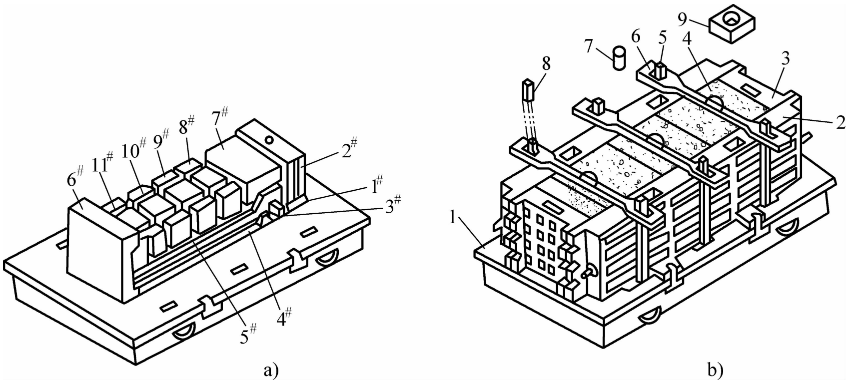


图 5-7　劈箱造型二（砂箱劈成四部分）

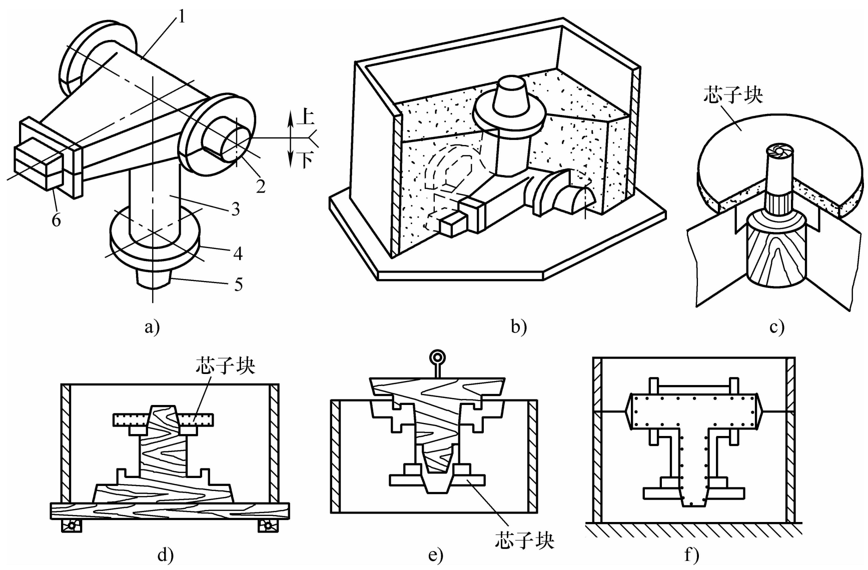
a）在平箱板上装配砂芯　b）装配好的砂型

1—平箱板　2—侧箱板　3—端箱板　4—砂芯　5—方钢　6—拉杆　7—排气孔圈

8—塞铁　9—浇口箱　1#～11#—砂芯编号

18. 埋泥芯块造型（见表 5-33）

表 5-33　四通铸件的埋泥芯块造型

埋泥芯块造型简图	 a）四通铸件模样　b）舂砂到法兰盘面　c）取出法兰盘模，套上泥芯块　d）继续填砂舂满下箱　e）下箱翻转 180°，放上箱和上模，造上型、开箱、起模　f）合型 1—上摸　2、5、6—芯座模　3—下模　4—法兰盘（活动的）
结构的工艺性	四通铸件模样分模面如图 a 所示。法兰 4 是活套在模样主体上，要使模样从砂型中取出，需要两个水平的分型面，一个如图所示。另一个分型面应在法兰盘 4 处。为免去法兰盘 4 出的分型面，可应用一个泥芯块进行泥芯块造型
造型方法	1）将下砂箱和下半模样放到造型平板上型砂舂到活动法兰盘处，把法兰盘四周舂实，型砂紧实度要高些，刮平型砂使其与法兰上表面平齐（图 b） 2）取出法兰盘模样 3）将预先舂制好的泥芯块套到模样上放到刮平的型砂面上，在泥芯块的下面形成法兰盘的空腔 4）直至舂满下砂箱为止（图 d） 5）把下箱翻转 180°，在其上舂制上半型 6）开箱后，分别起模（图 e），由于法兰盘已提前取出，下半模样能顺利取出，泥芯块留在原处，形成铸型的一部分 7）合型（图 f）
特点	1）砂芯块应用强度较高的芯砂制作，且为干芯 2）放置泥芯块处的砂型紧实度要高 3）泥芯块与砂型应有足够大的接触面积
应用	1）有些铸件上的孔不在分型面上，需要铸出时可采用砂芯块造型 2）有些铸件分型面过多，造型操作麻烦，为减少分型面，可将分型面处模样作成活块，采用埋泥芯块造型

19. 实物造型方法

（1）方法　实物造型是直接用零件做模样进行造型的一种造型方法。

（2）特点　采用实物造型时，铸件的收缩量和加工余量可用加大松模量和在实物表面贴厚的方法来补偿。实物上的孔可用填料填实，需要时加芯头。实物上局部去摸困难的可用活砂方法解决。

（3）应用　实物造型用于形状简单的急需配件。

20. 造型守则

（1）造型前的准备与要求

1）熟悉铸件零件图和工艺图，按工艺要求和操作规程的规定，正确地准备模样、浇口、冒口、冷铁、模板、砂箱等以及型砂和涂料。

2）按工艺图检查模样、活块、浇口、冒口、冷铁、型板等的件数、形状和尺寸是否完整和正确，定位装置是否严密而灵活，起模装置是否完备，如不符合要求，应立即退回，配齐修好后再使用。

3）内外冷铁须经清理滚筒除锈和松香酒精溶液防锈处理，表面平整干净，形状与尺寸符合工艺图要求。

4）了解翻箱、起模和配箱操作的要求。

5）砂箱使用前应清除松附其上的残留干砂和锈铁皮。断裂、少吊攀的砂箱不准使用，必要时须经修复加固后方可使用。螺栓连接的旧砂箱使用前须经检查和重新加固后方可使用。

6）在砂箱内放置模样的要求：①模样应能从砂型中顺利取出；②铸件上的加工面，特别是重要加工面，应在浇注时处于底面或侧面，尽量避免处于顶面；③放好模样后，要留有开设浇冒口的位置；④摆放模样时应考虑到与上箱中浇冒口位置一致。箱带不应妨碍浇冒口的正确设置。但在不影响质量的前提下，浇冒口位置允许适当移动；⑤模样边沿到砂箱内壁各部分的吃砂量要求见表 5-34。

表 5-34　吃　砂　量

铸件类型	侧面	底面	冒口距箱带
中小型模样/mm	≥80～120	≥100～150	≥40～100
大型模样	随模样轮廓尺寸增加，吃砂量适当增加		

7）一般情况下，砂箱四角应垫以厚度为 5～30mm 的垫铁，以使分型面高出分箱面。特殊情况下也不能大于 60mm，以防压塌或浇注时跑火。

8）模样和模板应清扫干净，不得有浮尘、砂子等杂物。

9）为防粘模和方便起模，应在模样及模板上刷涂脱模漆和脱模剂。不同的型砂选用不同的脱模漆，见表 5-35。

表 5-35　脱　模　漆

型砂与模样	脱模漆名称及特点
粘土砂、合脂砂、油砂用模样	刷紫胶（虫胶）片含量（质量分数）40%～42% 的紫胶片酒精溶液。耐酸碱性稍差

（续）

型砂与模样	脱模漆名称及特点
碱性强的水泥砂、水玻璃砂用模样	刷硝基外用磁漆。耐水、耐碱性较好
呋喃树脂自硬砂用模样	刷过氯乙烯外用磁漆。有较好的耐候性、耐化学腐蚀性
各类树脂砂模样	刷聚氨酯漆。附着力强、光亮，有优良的耐化学腐蚀性、耐磨性、耐久性

型砂不同的脱模剂也不同，见表 5-36。

表 5-36　脱　模　剂

脱模剂名称	使　用　特　点
石松子粉和滑石粉	石松子粉质量轻、不易为水、油所润湿，故为理想的分型脱模剂 滑石粉有油脂光泽，熔点为 1200～1300℃，用作非铁合金铸件与小型铸铁件涂料、敷料和脱模剂
全损耗系统用油（机油）和煤油、柴油	两者均为脱模剂，而煤油还可用作合脂、渣油的稀释剂
甲基硅油和甲基硅油乳状液	脱模性能优良

10）大中型铸件模样，或翻箱时易脱落的模样，应用铁钩将模样拉牢在箱带上。

11）按工艺要求，将浇冒口、冷铁、砂芯排气棒、吊拉砂芯的螺栓孔棒等放妥。对吊在箱带上的和要放芯撑的大砂芯，在砂芯和箱带之间和砂芯底部放芯撑的地方，应用垫铁或放耐火砖垫结实。

12）对大砂型和带有大吊砂的砂型，应用铁钩（砂钩）或吊铁棍的措施加固，但铁钩和铁棍长度不能露出砂型表面，应距表面 15～30mm。

13）放好合型用的内箱锥。

（2）填砂

1）型砂性能必须符合工艺要求。

2）填砂

①放砂箱之前，先将面砂均匀地敷在模样上，不易紧实的凹深部位、转角部位，可先捣一捣，或用手按实，或将面砂抛上去。较高的立面可放好砂箱后，再填面砂。面砂应过筛，紧实后的厚度要求见表 5-37。

表 5-37　面砂紧实后的厚度　（单位：mm）

小型铸件	中型铸件	大型铸件
20～40	30～60	50～100

②面砂上部填入松散的背砂，填入量每次不宜过多，每次填砂厚度一般控制表 5-38 所示的厚度。

表 5-38　每次填砂厚度

舂砂用工具	手工砂舂子舂砂	手工风舂子舂砂
填砂厚度/mm	75～150	150～250

③粘土砂干型，为减少收缩阻力，填砂时需在冒口周围及妨碍铸件收缩的部位填入锯末砂。

（3）舂砂

1）舂砂时，砂舂子不能直接舂打在模样上。

2）舂砂时，应留心并采取措施，不能使模样、模样上的活块、冷铁、浇冒口舂偏，位置移动，保持浇冒口垂直。

3）舂砂时，应先舂砂箱四角，使模样定位，后沿箱壁四周由外向里舂实。逐层舂实，紧实度应均匀。

4）舂砂时，砂箱内各部位的紧实度应有区别，一般要求箱边附近和型腔表面应比其他部位紧。型砂不同紧实度也不同，如石灰石水玻璃砂一定要舂紧，而粘土干模砂则要松紧合适。

紧实度可用砂型表面硬度计测出，对湿型测得硬度读数一般要求是：湿型小件为50～70；湿型大件为70～90。

（4）砂型排气　金属液注入型腔后产生大量气体，除靠砂型本身透气性逸出外，同时还应根据铸件结构，采用扎排气孔和安放出气冒口排气。

1）上型和下型舂实刮平后，均应用通气针扎出出气孔。一般要求见表5-39。

表 5-39　对扎气孔的要求　（单位：mm）

出气针直径		2～8
出气孔深度（即气眼距模样表面距离）	干型	30～50
	湿型	10～15
出气孔间距	大件	150～250
	小件	100～150

2）在上砂型中局部的凸台、细薄部分、铸件最高处、或易集气的地方，应扎出出气孔或安放出气冒口。

3）一般薄平件砂型的排气。上型排气，采取在分型面上距型腔边沿5～10mm处到砂箱边，划出多条窄的排气沟来排气。下型排气，采取起模前在分型面上沿模样一周刻出一条排气槽，并通到砂箱边，另用一弯曲的弧形通气针在排气槽内扎出气孔。

4）较高的砂型排气。每舂一层均要扎出大量出气孔，以使最下面的气体排出型外。

5）吊砂很高的砂型排气。舂砂时在吊砂中埋入一根草绳，每舂一层从草绳处向外扎出气孔。也可用管子替代草绳，舂实后抽出管子。

6）大砂型或高砂型排气。舂砂时可在砂箱四角和边沿埋入适量焦炭、炉渣等加

强排气。或每舂一层后扎出大量出气孔，以助最下部气体排除型外。

7）对不是舂实，而是将模样敲入砂床的砂型排气，在敲模前，在松软砂床上垂直扎出一些出气孔，后用手抹严，再将模样敲入砂床。

（5）分型面修整与隔离

1）分型面修整。两箱合型造型时，在下箱舂实翻箱后，不应急于放上箱，应先对下箱分型面进行修整。

①分型面应修光压平。

②模样四周应修的低一些，形成一个小披缝，以防起模时带出型砂在合型时压坏砂型。披缝尺寸要求见表 5-40。

表 5-40　披 缝 尺 寸　（单位：mm）

砂型类别		披缝厚度	披缝宽度
粘土砂干型	中小型	1 ~ 2	20 ~ 30
	较大型	3 ~ 4	
湿型		披缝可适当减小，也可不留披缝	

2）分型面隔离。两箱合型造型，下型分型面修好后，放上箱前，应隔离分型面。分型面隔离的措施与应用见表 5-41。

表 5-41　分型面隔离的措施与应用

隔离措施	应用
分型砂隔离	直接在分型面上均匀地撒上细干砂（即分型砂，又称隔离砂），注意散落在模样上的干砂应清除干净 适用于粘土砂干型、湿型，以防上下分型面粘合
油纸，或塑料薄膜隔离	用涂过稀油的纸，或塑料薄膜贴附在分型面上 适用于水玻璃砂 CO_2 硬化的砂型，防止上箱吹 CO_2 时向下型窜气

斜度较大分型面，撒上分型砂留不住时，采用如下措施：

①干型可先在斜的分型面上喷一些清水，再撒分型砂。

②湿型可在斜的分型面上铺一层旧报纸替代分型砂。

（6）上下砂型定位

1）尽量采用定位销。

2）两箱合箱造型

①可采取金属定位锥和水玻璃砂锥定位。造下型在砂箱内三个角附近各放一个下半锥（母锥），翻箱后将另三个半锥（公锥）分别放入下半锥上，造上型。起模时，将上下型的金属锥取出。合型时放入三个形状和尺寸与金属锥一样的整体水玻璃砂锥定位。

②小型造型，采用合型号（泥号、或粉号、或划线）定位。开箱前在砂箱三个侧面的分箱缝处，清理干净、刷泥浆水、打泥号。泥号要求：线细、顺直、规整、清

晰。

③也可采用埋入砂质，或砖质箱锥与合型号结合的定位方法。

3）两箱分型模板造型。采用上下模板上设置固定的铁质锥套和箱锥定位。

（7）开箱与翻箱

1）开箱前先从上型拔出直浇道棒、明冒口，并将浇冒口的上口部位的砂型光平，修整，并刷涂料，撒细干砂。

2）开箱前，先用撬棍在上下箱搭手间稍微撬动，以使模样与型腔间产生微小间隙。

3）开箱时应小心不要碰坏箱壁上的合型号。

4）开箱时，小砂型可用两人合作开箱，必须行动一致垂直抬起。大砂型需用桥式起重机开箱，起重吊钩应调整到上型重心上方，挂上链条后先调整松紧程度，然后由一人指挥，两人扶正，开始缓慢吊起，防止摆动。

5）翻箱时，要严格注意安全。拉模样的螺栓须在砂箱侧立平稳后去除。翻箱后砂箱应摆放平稳。

（8）起模

1）松模

①清除分型砂。

②粘土砂干型，可沿模样边沿均匀刷一层水润湿砂型，修分型面。必要时在分型面和模样四周插钉子加固。

③松模，即活样子，松模量的要求见表5-42。

表5-42　松　模　量　（单位：mm）

模样大小	模样深度	松模量
小件	<200	1 ~ 2
大件	>500	2 ~ 3.5

④松模时，小模样应敲起模针，大中模样应用木锤子，或垫上木块敲击模样。前后左右用力应均匀。

2）起模

①起模针（钉或钩）应设置在模样重心的上方。

②开始起模时，先用锤子向下敲击起模针，使粘在模样上的型砂脱落，而后，将起模针垂直向上提起，同时用木锤子轻轻敲击模样，待全部模样起出时，应迅速向上提出，不可偏斜和摆动，以免碰坏砂型。

③较大模样可以钉入两根起模针起模，以减少摆动。

④为防止起模时带起周围型砂，可在模样四周砂型上压上压板后起模。

⑤不要践踏型腔表面和分型面，必要时应垫上平板等脚踏物。

⑥取出的模样、浇冒口应放置在一定位置，不可乱抛。

（9）砂型修整与增强

1）修型

①起模后，应检查分型面、型腔、发现局部松软、损坏或裸露背砂的地方，应仔细用面砂补修，使其恢复原来形状和尺寸。

②修型应先内后外、先上后下有次序进行，以免已修好的砂型又被散砂落入弄脏。

③对大面积损坏处的补修，应先挖除表面层型砂，或将表层划毛，再填补高出原平面的面砂，修压后与原平面平齐并粘牢在一起。

④补修粘土砂型时，若砂型太干，可先喷一层水润湿，补修后局部烘烤。补修水玻璃砂型和呋喃树脂自硬砂型时，严禁用水润湿。

⑤所有铸件的内角都必须修成圆角（除芯头外），冒口与铸件相连的根部必须打成圆角。冒口根部的圆角见表 5-43。

表 5-43　冒口根部的圆角　（单位：mm）

冒口直径 d(或宽度 B)	<200	200 ~ 300	300 ~ 400	400 ~ 500	>500 ~ 800
冒口根部圆角半径 R	20 ~ 30	30 ~ 40	45 ~ 60	60 ~ 70	>70 ~ 80

⑥暗冒口要扎出大气压芯的孔和出气孔，出气孔直径要求见表 5-44。

表 5-44　出气孔直径　（单位：mm）

暗冒口直径 D，或宽度 B	出气孔直径 d
≤200	>30
≤350	≥40
>350	≥50

冒口与铸件同样大时，要留出明显的气割印。

⑦按工艺规定的部位修出防裂肋。

⑧修型时应保持砂芯座形状和位置正确。砂芯座底部，或出气孔四周应挖出小沟槽，以便放白泥条。必要时在分型面上挖出砂芯的出气槽。

⑨能在湿型内落好的砂芯（即干芯湿下）尽量落好固定，做到尺寸准确，出气孔通畅。

⑩特殊重要件，按规定在砂型内适当位置打上编号。

2）砂型的增强。对浇注中砂型易起砂，或经不住金属液冲刷的部位，进行增强。增强措施一是插钉子，二是刷涂料。

①对干燥过的砂型，或已硬化的砂型，在补修后应插钉子以形成坚实的骨架。

②修补好的大平面、凸台、转角、浇口附近，应插钉子加固。

③插明钉时，钉头应与砂型表面平齐。插暗钉时，钉头应敲扁，低于砂型表面 3 ~ 5mm，用面砂覆盖。

④插钉的长度根据砂型面积和结构选取，一般钉长为 50 ~ 200mm，间距为 25 ~ 100mm，不能用弯的钉子。

⑤钉子应先润湿一下再垂直插入砂型，大平面积上的插钉时应错开排列。

（10）刷涂料

1）刷涂料前应将型腔内、浇冒口内的散砂清理干净。

2）涂料应刷的均匀，凹陷处不许涂料堆积。刷完涂料的砂型必须是光滑的。

3）干模砂刷涂料

①涂料种类按工艺规定使用。

②涂料搅拌均匀再用。一般小砂型应刷 1 ~2 遍，中大型应刷 2 ~3 遍。

刷第一遍时涂料应稠些，密度控制在 1.6 ~1.8g/cm^3 之间，刷完后应晾干一段时间，再光压一遍，继续刷下一遍。

第二、三遍涂料应稀一些，密度控制在 1.4 ~1.5g/cm^3 之间，刷完后晾干 2 ~4h，即可进窑烘干。厚壁大型铸件可抹涂膏，涂膏厚度一般为 1 ~2mm。

③在砂型内湿下的砂芯（即干芯湿下）应连同砂型再刷一遍中等浓度涂料。

④芯头部分可刷白泥浆涂料。

4）湿型用敷料

①将预先配制好的干敷料装在粉袋中，抖动粉袋将敷料均匀地撒在湿型表面。必要时可用镘勺光压，使其粘牢。

②也可将干敷料直接撒在砂型表面，用排笔沿一个方向将敷料涂扫，使其均匀分布在砂型表面。

5）呋喃树脂自硬砂型，用醇基涂料（即快干涂料）均匀刷在砂型上，点燃后，即可固化。也可采用自干涂料，涂料刷在砂型上，待分散介质挥发后固化。

6）造好砂型应按砂箱大小整齐堆放，砂箱间用垫铁垫箱。垫铁厚度，中小箱为 50 ~100mm，大箱为 150 ~200mm。

（11）硬化

1）水玻璃砂型的硬化

①水玻璃 CO_2 砂的硬化。应控制适当的 CO_2 压力和流量，在半硬化状态下起模。硬化可用气眼针以穿透砂型的程度来判断。过量的 CO_2 会使铸型发酥或产生白霜。

②水玻璃砂型也可采用真空置换硬化法。

③有机酯水玻璃自硬砂型的可使用时间较短，因此，最好选用连续混砂机混砂造型，可缩短混砂时间。夏季采用硬化速度慢的有机酯和低模数水玻璃。冬季采用硬化速度快的有机酯和高模数水玻璃。应在可使用时间内完成造型。

2）呋喃树脂自硬砂型的硬化。硬化速度应从控制树脂自硬砂的可使用时间和脱模时间着手。

5.1.3 刮板造型

刮板造型是利用特制的成型板刮制铸型的一种造型方法。刮板是主要模具。刮板造型的类型、特点及应用见表 5-45。

1. 旋转刮板造型

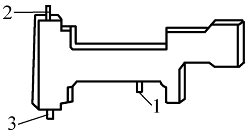
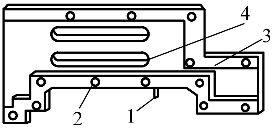
旋转刮板造型即绕垂直轴旋转的刮板造型。

表5-45 刮板造型的类型、特点及应用

分类	旋转刮板造型	摇板造型	导向刮板造型	骨架模造型
特点	刮板绕垂直轴旋转	刮板绕水平轴旋转	刮板沿导向框定向移动	刮板沿特殊框架滑动
优点（与实样模砂箱造型比较）	1）刮板的制作容易、投产快、节约制模材料和工时，成本低 2）可在砂箱内造型，或地坑里造型；可刮制湿型，也可刮制干型；当铸件结构不能完全采用刮板造型时，也可用刮板-实样联合造型 3）刮板造型定位，可采用“十字线定位”，随刮板刮出“止口定位”、“圆线定位” 4）大中型铸件采用刮板造型，其尺寸精度较实样模造型要高。虽操作较麻烦，费工时，精度差，但对单件生产的大件还是较经济的			
应用	适用于单件、小批生产的大、中型旋转体铸件，或外形简单的铸件			

（1）旋转刮板的分类　生产中根据铸件大小，采用不同结构的刮板旋转轴，以此将刮板分为小型刮板和大型刮板两种类型，见表5-46。

表5-46 旋转刮板的分类

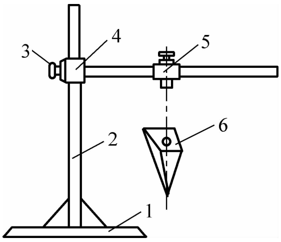
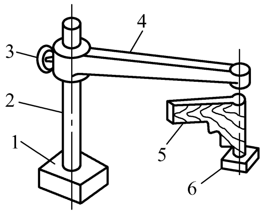
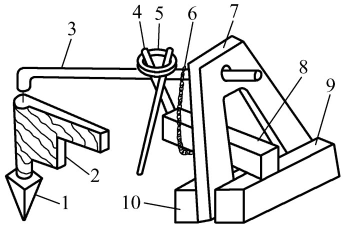
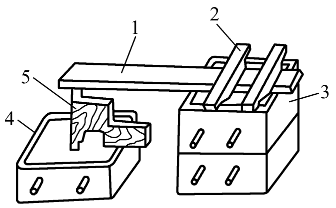
类型	特　征	简　图	应　用
小型刮板（顶针刮板或木芯刮板）	小型刮板自带旋转轴，在木质轴两端装有铁钉，用铁钉作旋转轴的轴心	 1—铁钉　2—上顶针　3—下顶针	适用于直径小于1000mm的小型回转体铸件
大型刮板（轴杠刮板或铁芯刮板）	大型刮板在操作时，承受的作用力很大，要求刮板刚度要好，因而，将刮板用螺栓紧固在坚硬的旋转壁上，旋转臂带动刮板围绕固定中心轴旋转	 1—铁钉　2—螺钉　3—薄钢板 4—长形螺栓孔	适用于直径大于1000mm的重大型回转体铸件

（2）旋转刮板的架设方法　小型刮板和大型刮板的架设方法不同。

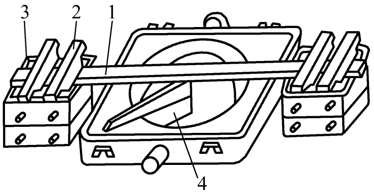
1）小型刮板的架设。小型刮板架形式有两类：悬臂式和过桥式。过桥式较稳固，可刮制尺寸稍大些的砂型。小型刮板的工装辅具简单，见表5-47。

可调式悬臂刮板架的架设方法：①在砂箱外适当位置放置刮板架；②放上压铁稳固刮板架；③在箱内确定刮板轴的位置，砸入木桩；④刮板下顶针放入木桩孔内，调节悬臂高度和可调滑套位置，将刮板上顶针放入滑套孔内，松开紧固螺钉；⑤旋转刮板360°，刮板工作面高出砂箱箱边5mm；⑥将紧固螺钉拧紧。

表 5-47　小型刮板架的形式

刮板架的形式		简　　图
悬臂式	可调式悬臂刮板架	 1—底座　2—立轴　3—紧固螺钉　4—转动臂 5—可调滑套　6—木桩
	固定式旋臂刮板架	 1—底座　2—立轴　3—紧固螺钉　4—转动臂 5—刮板　6—木桩
	铸铁马鞍式刮板架	 1—木桩　2—刮板　3—旋臂杆　4—支承杆　5—铁环 6—铁丝　7—马架　8、9、10—压铁
	砂箱式悬臂刮板架	 1—旋臂　2—压铁　3、4—砂箱　5—刮板

（续）

刮板架的形式	简　　图
过桥式刮板架	 1—过桥　2—压铁　3—砂箱　4—刮板

2）大型刮板的架设方法。大型刮板架有两种类型，一类是单轴轴杠，即立轴和转动臂同一轴心，用于刮制圆形件；另一类是单轴偏心轴杠，即在立轴和转动臂间装有偏心套，用于生产双轴心的铸件，如在同一箱内可刮制不同心的两个半圆铸件，或椭圆形铸件。

①大型刮板架的结构，如图 5-8 所示。

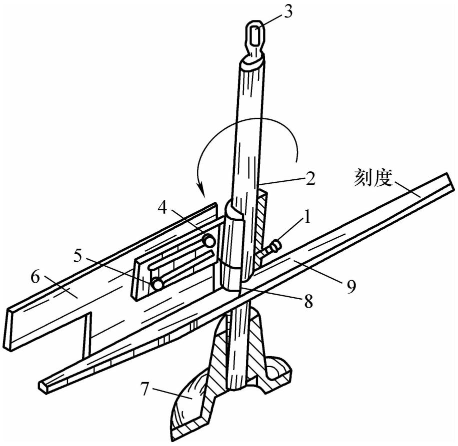


图 5-8　大型刮板架

1—紧定螺钉　2—立轴　3—吊环　4—转动臂　5—螺栓

6—刮板　7—底座　8—颈圈　9—校尺

②立轴与转动臂的设计尺寸见表 5-48。

③转动臂与偏心套的结构及技术要求见表 5-49。

表 5-48　大型刮板立轴与转动臂尺寸　　（单位：mm）

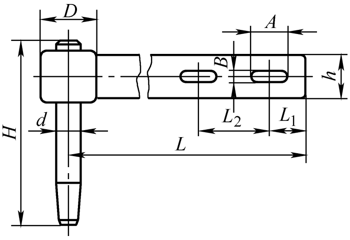
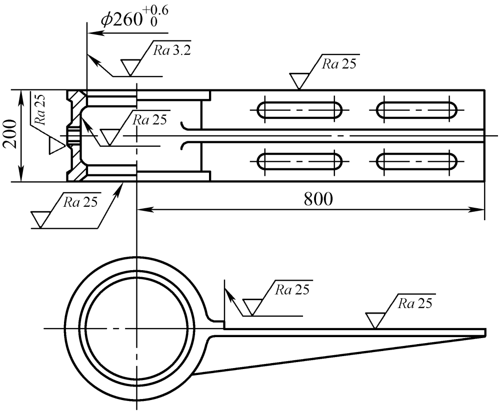
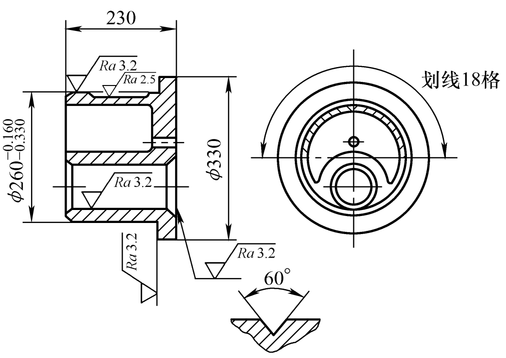
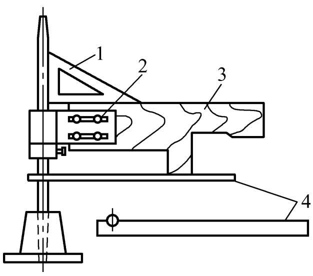
简　　图	规格		1	2	3	4
	立轴	d	50	60	70	80
		H	1450	1620	1820	2220
	转动臂	D	110	120	140	170
		L	500	900	1200	1500
		h	100	120	120	120
		L_1	80	120	140	150
		L_2	115 × 2	210 × 3	220 × 3	230 × 8
		A	90	110	150	170
		B	20	24	26	30

表 5-49　转动臂与偏心套的结构及技术要求

名称	结　构　简　图	技术要求
大型刮板转动臂		1）转动臂上与刮板贴合的平面需要机械加工，其表面粗糙度为 $Ra=25\mu m$，并且加工面要与轴孔径向中心线重合 2）轴孔 $\phi260^{+0.6}_{0}$ mm 面的表面粗糙度为 $Ra=3.2\mu m$
偏心套		技术要求：见左图

④大型刮板的架设方法与校正见表 5-50。

表 5-50　大型刮板的架设方法与校正

大型刮板架设与校正图示	 1—三角尺　2—可调螺栓　3—刮板　4—量棒（校板，刻度直尺）	
序号	架设操作要点	校　正　方　法
1	地上挖坑，将底座放入坑内	用水平仪在底座相互垂直的两个方向校正水平
2	将立轴插入底座上的锥孔中	用角尺在相互垂直两个方向，校验立轴垂直度
3	向底座四周填砂，舂实，使底座稳固（当底座是放在专用底板上时，可用螺栓将底座与底板紧固）	
4	刮平砂地，撒分型砂，放砂箱	
5	在立轴上套上颈圈，并用螺钉将其固定在所需要的高度	
6	套上转动臂，并能绕轴心作 360°旋转	
7	装上刮板，螺栓先不要拧紧	①用量棒（刻度直尺）调整刮板位置；②用水平仪校正刮板至水平；③刮板下面高出箱边 5mm
8	拧紧连接刮板和转动臂的螺栓，以使刮板在造型时不产生移动	

（3）刮板造型方法

1）三箱刮板造型方法。以三肋三孔的支承轮三箱刮板造型为例，说明刮板造型的操作与配箱方法。支承轮的工艺图和模样图如图 5-9 所示。

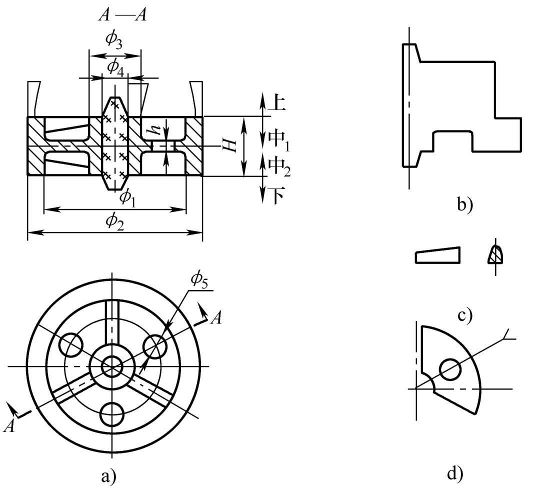
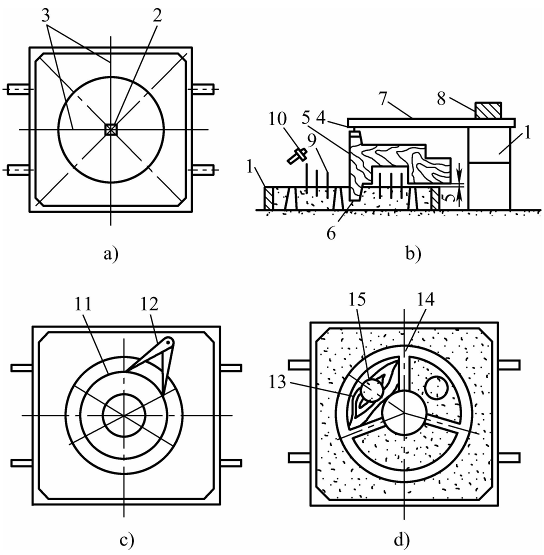


图 5-9　支承轮

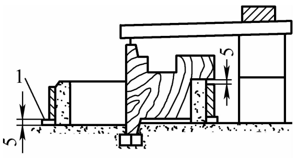
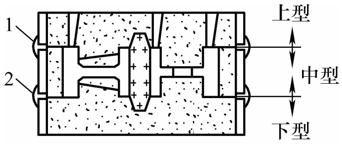
a）工艺图　b）上、中、下型刮板　c）肋的实样模　d）补孔芯盒

支承轮三箱刮板的造型操作及配箱方法见表 5-51。

表 5-51　支承轮三箱刮板的造型操作及配箱方法

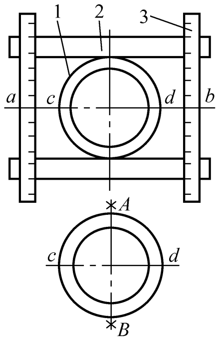
工　序　操　作	简　　　图
1. 造上型 1）平场地，撒分型砂，放好上箱 2）填砂、舂实、刮平 3）划出砂箱的对角线交点，在交点上砸入木桩（图 a） 4）刮板的下顶针插入木桩内，调整刮板的工作边稍高出箱边（图 b） 5）刮板的上顶针插入悬臂架一端的孔内，另一端放上压铁稳定 6）刮板旋转 360° 7）砸入加强吊砂的铁片（或木片），注意在三条肋处铁片砸入低一些 8）填充吊砂处的部分型砂，刮制上型 9）在刮出的吊砂上，扎出气孔 10）在吊砂上筛一层细面砂，再刮一遍 11）在吊砂上刮划出一条圆线 12）拆除刮板，喷清水，修型 13）用分规将圆线六等分，隔一等分，划出三条肋的中心线（图 c） 14）借助肋的模样挖出三条肋 15）在肋之间放上随形补孔芯盒，刷泥浆水、填砂、舂实、插钉加固、取去芯盒（图 d）	 1—砂箱　2—木桩　3—十字定位线　4—上顶针　5—刮板　6—下顶针　7—悬臂　8—压铁　9—铁片或木片　10—小锤子　11—圆线　12—分规　13—ϕ5mm 孔芯盒　14—肋　15—ϕ5mm 孔的圆芯

（续）

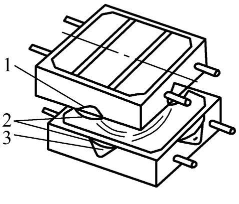
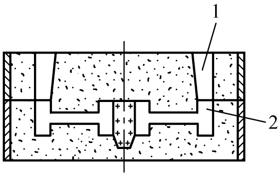
工　序　操　作	简　　　图
2. 造中型（是一个圈箱，图 e） 1）填砂前，在砂箱四角垫上铁片，以使中型的上下分型面高出箱边少许 2）为防塌箱，应采取措施，如在箱内壁上刷白泥浆水，或增设箱带，或箱角处紧实度高一些等方法 3）其他操作同上型	 e) 1—铁片
3. 造下型 1）在下型的凸起部分是自带砂芯，不必放铁片（或木片）加固 2）作圆线的两条相互垂直的直径，并将这两条直径引出到箱壁上定位 3）肋的等分线不必划，也不挖，待配箱时挖 4）其他与上型操作相同	 f） 1—上、中型定位线　2—中、下型定位线
4. 配箱（上、中、下三个砂型，通常用中型为基准，配正砂型，见图 f） 1）配正中、上型——将中型放在上型上，调整使轮缘壁厚处处相等，在箱壁上划出定位线 2）配正中、下型——将中型翻转放在下型上，调整使轮缘壁厚处处相等，在箱壁上做出定位线 3）吹制下型上的三条肋——在下型轮毂内放入黑石墨粉，将上型按定位线合上，向轮毂冒口吹入压缩空气，使飞扬起来石墨粉在下型上留出肋的印迹 4）取去上型和中型 5）根据下型上印迹，借助肋的实样模挖出三条肋的形状 6）下轴孔芯子 7）按合型定位线，合好中型和上型 8）放上压铁，以免浇注时抬型	

2）两箱刮板造型方法。其操作方法与三箱的相同，配箱时的定位方法有三种：圆弧线定位、出气口定位、十字线定位，见表 5-52。

表 5-52　刮板造型合型定位方法

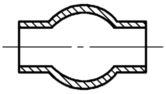
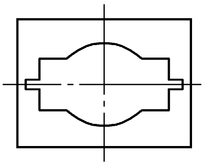
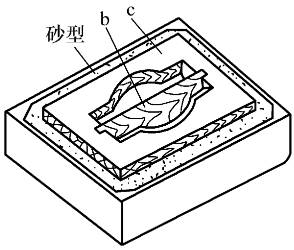
序号	定位方法	操　作　要　点	简　　　图
1	十字线定位	1）将两只直尺 2 靠在圆线 1 上 2）用刻度直尺 3 测出两只直尺 2 的距离 3）找出两只直尺距离的中点 *a*、*b* 4）连接两个中点得一条线，和圆线有两个交点 *c*、*d* 5）以这两个交点为圆心，任意长为半径，划两弧交于 *A*、*B* 两点 6）连接 *A*、*B* 两点，则得另一条合型定位线	 1—圆线　2—直尺　3—刻度直尺

（续）

序号	定位方法	操 作 要 点	简 图
2	圆弧线定位	1）在上箱和下箱的四壁居中近分型面处，贴上一层粘性好的红砂泥（或细面砂块） 2）在刮板上距轴心距离比箱边轴心距离长 5～10mm 处钉一个无头铁钉 3）旋转刮板在红砂泥上划出圆弧线 4）按圆弧线削修红砂泥 5）合型时，只要红砂泥圆弧线上下对准即成	 1—上箱红砂泥　2—外圆线 3—下箱红砂泥
3	出气冒口定位	1）在上型轮缘处，均匀布置四个下部宽度等于轮缘厚度的扁出气口（或冒口） 2）合型时，从上型通过四个出气口向里看，都看不到下型分型面，即上下型合准了	 1—出气口　2—轮缘

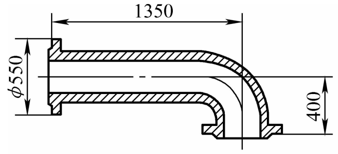
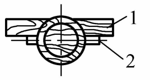
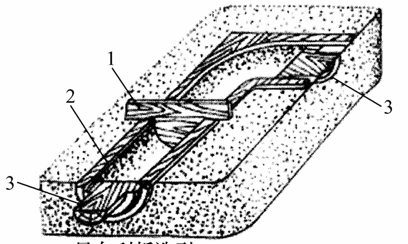
2. 摇板造型（见表 5-53）

表 5-53　摇 板 造 型

序号	项目	内　　容
摇板造型简图		 铸件　 摇板　 框架　 摇板造型
1	概念	摇板造型的实质，是绕水平轴心旋转的刮板造型。又称扇板造型，或横卧刮板造型
2	主要模具	是框架和摇板（扇板）。摇板靠轴的支撑安装在框架（框架面就是分型面）上
3	操作要点	造型时，先在箱内填入适量型砂，舂实、刮平，然后，把框架放在分型面上合适的位置（考虑周围吃砂量应均匀），用压铁压牢。摇板绕水平轴摇摆，即可刮出所需型腔
4	应用	主要适用于细长（甚至截面有变化）的回转体铸件，如鼓形件、缸体类、管筒类等

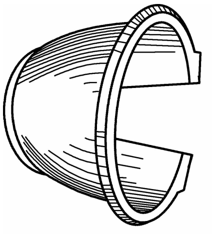
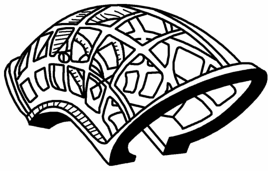
3. 导向刮板造型（见表 5-54）

表 5-54　导向刮板造型

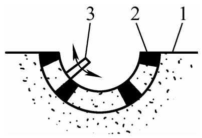
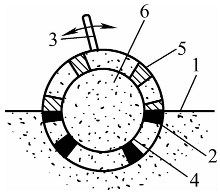
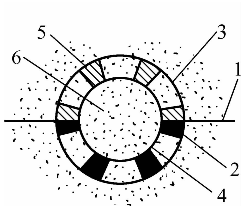
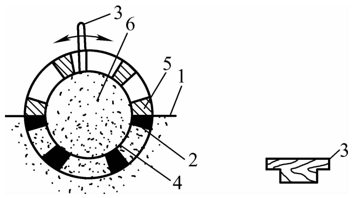
序号	项目	内　　容
导向刮板造型简图		 管子弯头铸件  刮板和导框 法兰模和芯头  导向刮板造型 1—刮板　2—导框　3—法兰模和芯头
序号	项目	内　　容
1	方法	导向刮板造型又称揽板造型，是将导板框架（导框）放在分型面上，刮板沿着导框定向移动，刮去多余的型砂，而成型的一种造型方法 这种方法不像旋转刮板那样绕轴线旋转，而是以导板为基准来导向刮制砂型
2	应用	适用于生产截面无变化的各种几何形状的铸件

4. 骨架模造型（见表 5-55）

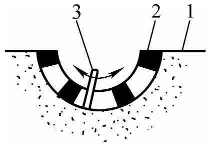
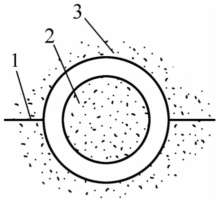
表 5-55　骨架模造型

骨架模示意图	 a)  b) a）大型蜗壳铸件　b）骨架模
应用	有些铸件截面形状不断变化，不能用旋转刮板或导向刮板造型，可用骨架模造型。骨架模由一些厚度与铸件壁厚相等的木条组成，它的轮廓形状与铸件相似（见图 b）

（续）

骨架模造型操作方法	图　　示
1）备好地坑硬砂床 2）先将下半骨架模放入砂床上，分模面调水平，以便于吊出砂芯 3）在骨架模的木条间填型砂，舂实 4）用直刮板沿骨架模内表面刮起多余型砂，形成制芯用的半个芯盒	 沿下半模内表面刮砂，形成芯盒 1—地坑砂床　2—下半骨架模　3—刮板
5）在骨架模内表面铺上一层薄纸 6）填入部分芯砂，放芯骨，放入形成排气道的物件，填芯砂、舂实 7）吊入上半骨架模，继续填舂芯砂，用直刮板刮去高出骨架模表面的芯砂，形成了制造上型用的模样	 沿上半模外表面刮砂、刮制模样 1—地坑砂床　2—下半骨架模　3—刮板 4—薄纸　5—上半模　6—砂芯
8）在上半骨架模样上铺上一层薄纸，放好上砂箱、浇冒口，填砂舂制上型	 舂制上型 1—地坑砂床　2—下半骨架模　3、4—薄纸 5—上半模　6—砂芯
9）做好合型定位桩 10）吊去上箱 11）用带凸肩的刮板刮起骨架间的型砂	 刮制砂芯上表面 1—地坑砂床　2—下半骨架模　3—带凸肩的刮板　4—薄纸　5—上半模　6—砂芯

（续）

骨架模造型操作方法	图　　示
12）吊去上半骨架模，对砂芯修整 13）吊去砂芯 14）用带凸肩的刮板刮去下半骨架模间的型砂 15）吊去下半骨架模，修整砂型，形成下型	 刮制下半型型腔表面 1—地坑砂床　2—下半骨架模　3—刮板
16）挖好浇注系统 17）刷涂料、烘干。以上操作完成砂型和砂芯的制造工作 18）下芯合型	 型剖面示意图 1—地坑砂床　2—砂芯　3—上砂型

5. 刮板造型时轮类件的分肋方法（见第 13 章 13. 14 节）

5. 1. 4　地坑造型

地坑造型又称地面造型，是直接在车间地面上或地坑里制备出砂床，不用砂箱或少用砂箱的造型方法。

1. 地坑准备的技术要求及砂床分类（见表 5-56、表 5-57）

表 5-56　地坑准备的技术要求

序号	项　　目	技术要求
1	地坑与地下管道、电缆、厂房柱脚的距离/m	≥2
2	相邻地坑上沿的距离/m	≥1. 5（或大于地坑深度）
3	高大铸件的地坑，四周应筑防水墙	以防地下水侵入型内，引起浇注时产生爆炸
4	模样下沿与地坑内壁距离/m 有浇道的侧面域内壁的距离/m 模样底面与坑底的距离/m	≥0. 6 ≥0. 8 0. 4 ~ 0. 8
5	较大铸件的地坑要求	尽量采用水泥地坑
6	一个水泥地坑中，同时造两个砂型时	应用挡板铁，或砂箱圈隔离
7	重视人身安全	地坑周围应设安全栏杆

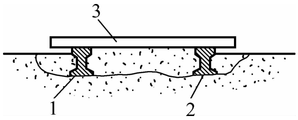
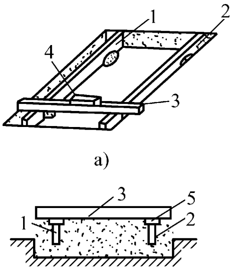
表 5-57　砂床种类、特点及应用

<table>
<tr><th colspan="2">分类</th><th>特　　点</th><th>应　　用</th></tr>
<tr><td rowspan="2">软砂床</td><td>简易软砂床</td><td>直接在砂地上挖坑制备，床面要求水平和松软，型砂几乎不舂实，承载能力较低，排气性不好</td><td>上部为平面的、低小的、形状简单的、表面要求不高的、允许有杂质的铸件，如铸铁芯骨、炉条、炉栅、压铁、小砂箱、砂箱板、箱带等</td></tr>
<tr><td>软砂床</td><td>砂床底部只放焦炭或炉渣，有人工排气通道，排气性好，有一定承载能力</td><td>适用于生产高度小于 1m 的铸件</td></tr>
<tr><td rowspan="2">硬砂床</td><td>硬砂床</td><td>砂床底部用侧立砖垛加固，型砂经舂实硬度较高，承载能力高于软砂床</td><td>适用于生产高度大于 1m 的大型铸件</td></tr>
<tr><td>加固硬砂床</td><td>砂床底部用铺钢轨替代侧立砖垛，型砂经舂实硬度高，承载能力高于硬砂床</td><td>适用于生产特大型铸件</td></tr>
</table>

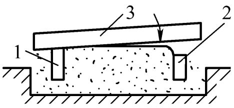
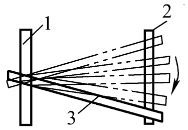
2. 砂床的制作方法

（1）简易软砂床的制作　简易软砂床的型砂几乎未经舂实，硬度很低，模样可直接压入砂床内造型。简易软砂床的制备方法见表 5-58。

表 5-58　简易软砂床的制备方法

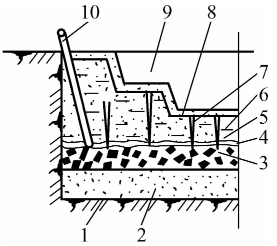
<table>
<tr><td colspan="2">固定式简易软砂床示意图</td><td>固定式简易软砂床是生产中为免去校平操作，对常用的简易软砂床可采用铁挡板，校平后固定在地坑内不动，以便使用，如右图所示</td><td>固定式简易软砂床
1、2—铁挡板　3—刮板</td></tr>
<tr><td>序号</td><td>工序</td><td>简易软砂床制作要点</td><td>简　图</td></tr>
<tr><td>1</td><td>挖坑</td><td>砂地上挖坑，每边比模样大 150～200mm，深度比模样高度大 100～150mm</td><td rowspan="6">b)
a）校平挡板　b）刮平型砂
1、2—挡板　3—刮板　4—水平仪
5—垫板</td></tr>
<tr><td>2</td><td>垫砂</td><td>在坑内四个角处，各摊一堆砂</td></tr>
<tr><td>3</td><td>铺设基准挡板</td><td>沿坑长度方向，将两根平直挡板放在砂堆上</td></tr>
<tr><td>4</td><td>校平基准挡板</td><td>在挡板上放一根平直刮板
用水平仪先校一根挡板，再通过水平仪和刮板校平另一根挡板，使两根挡板处于同一水平面上</td></tr>
<tr><td>5</td><td>固定基准挡板</td><td>在挡板两头放适量压铁，两侧填舂少量型砂，固定挡板不能移动</td></tr>
<tr><td>6</td><td>填型砂</td><td>向坑内填入经过松砂处理的松散型砂，并略高一些</td></tr>
</table>

（续）

序号	工序	简易软砂床制作要点	简　　图
7	沿挡板刮平	用刮板刮去高于挡板的型砂	 c)  d) c）压实型砂　d）压实方法 1、2—挡板　3—刮板
8	放垫板	在两根挡板上，各放一厚 10mm 的木垫板	
9	填细面砂	筛一层厚 10mm 的细面砂	
10	沿垫板刮平	沿垫板刮去高出垫板的面砂	
11	取出垫板压实	取出垫板 将刮板横放在两根挡板上，一头固定不动，抬高另一头，将松散型砂压入和挡板一样平	
12	沿挡板刮平	用刮板沿挡板刮平型砂	
13	复查挡板水平	再用水平仪检查挡板水平，发现不水平，重新校整	
14	筛一层薄面砂、刮平、形成水平软砂床	在砂床上筛一层薄薄的面砂，刮平（或镘光），即形成水平软砂床	

（2）软砂床的制作方法（见表 5-59）

表 5-59　软砂床的制作方法

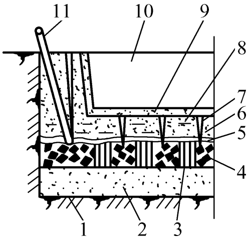
软砂床结构简图		 软砂床结构 1—水泥地坑　2—背砂（填充砂）　3—焦炭、炉渣　4—草席或草袋 5—圆钢杆　6—背砂层　7—出气孔　8—面砂层　9—型腔　10—排气管
序号	操作工序	操　作　要　点
1	制备水泥地坑	坑深比模样大 300 ~ 500mm，坑内四壁比模样稍大一些，以能方便填舂型砂和放加强物为准则
2	润湿地坑四壁	用水将坑侧壁和坑底润湿一遍（图中件 1）
3	填舂背砂	填舂背砂 1 ~ 2 层（图中件 2）
4	刮平	用刮板刮平，或铁锹铲平背砂层

（续）

序号	操作工序	操　作　要　点
5	放入排气材料	在背砂层上，放焦炭或炉渣作为排气材料，厚度为 100～150mm，粒度为 50～100mm（图中件 3）
6	放置排气管	排气管为直径 ϕ120～ϕ150mm 铁管 当砂床面积小于 10m^2，或制作狭长铸件时，放两根 当砂床面积大于 10m^{2}时，在坑四角各竖一根以利浇注时引出气体（图中件 10）
7	铺一层草席或草袋	在焦炭或炉渣层上面铺一层草席或草袋隔离，以免填充砂落入堵塞排气层（图中件 4）
8	填背砂，舂制坑底	分层舂填背砂，每次厚 70～100mm。背砂层总厚为 200～250mm。紧实度为下硬上适中形成坑底面（图中件 6）
9	埋入圆钢杆加强	在填舂背砂同时，在纵横方向埋入两层圆钢杆，圆钢杆间距 150～200mm（图中件 5）
10	刮平	刮平坑底面
11	扎排气孔	在坑底面上，用直径 ϕ5～ϕ8mm 气眼针扎排气孔直通焦炭层，气眼间距 300～400mm（图中序号 7）
12	填入面砂并舂实	用细筛筛一层面砂，厚度为 15～20mm，将出气孔上口封盖，以免浇注时钻入金属液，并舂实（图中序号 8），至此，软砂床形成（图中序号 8）
应用		用于生产高度 1m 以下的铸件

（3）硬砂床的制作方法（见表 5-60）

表 5-60　硬砂床的制作方法

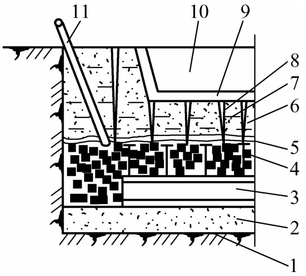
硬砂床结构简图		 1—水泥地坑　2—填充砂　3—侧立砖垛　4—焦炭或炉渣 5—草席或草袋　6—砂钩　7—背砂层　8—出气孔 9—面砂层　10—型腔　11—排气管
序号	操作工序	操　作　要　点
5	侧立砖垛，填排气材料	地坑底面上铺填充砂，并舂实、刮平后，摆上侧立砖垛加固，承载能力高于软砂床。每 3～5 块砖为一组，砖垛间距约 250mm，铺砖垛面积每边超出模样约 300mm 砖垛之间填入焦炭或炉渣

（续）

序号	操作工序	操　作　要　点
8	填背砂	背砂层总厚度为250~300mm
序号1~4，6~7，9~12		与表5-59中同样序号的操作工序、操作要点相同
应用		用于生产高于1m的铸件

（4）加固硬砂床的制作方法（见表5-61）

表5-61　加固硬砂床的制作方法

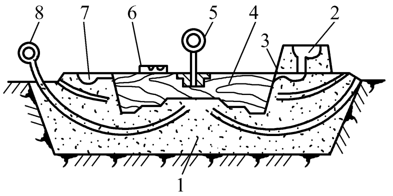
加固硬砂床结构简图		 1—水泥地坑　2—填充砂　3—钢轨两层　4—焦炭或炉渣 5—草席或草袋　6—背砂层　7—砂钩　8—出气孔 9—面砂层　10—型腔　11—排气管
序号	操作工序	操　作　要　点
5	铺钢轨、填排气材料	在坑底填充砂、舂实、刮平后，铺设纵横两层钢轨。轨间中心距离为200~300mm。铺轨面积每边超出铸件约500mm。轨端要固定牢不能移动
8	填背砂	背砂层总厚为300~400mm。每舂两层背砂，压一层砂钩，或圆钢杆
序号1~4，6~7，9~12		与表5-59中同样序号的操作工序、操作要点相同
应用		加固硬砂床，适用于制造特大型铸件

3. 地坑造型方法

（1）软砂床实样造型方法　软砂床床面松软，将模样直接压入床面内造型。其造型方法见表5-62。

（2）硬砂床实样模地坑造型　硬砂床造型主要用于大件和特大件的生产，分为有盖地坑造型和无盖地坑造型。采用有盖地坑造型时，必要时其上盖可用砂箱制作，但多数是用水玻璃砂芯组成。

表 5-62　软砂床实样模造型方法

<table>
<tr><td>软砂床实样造型简图</td><td>

1—软砂床　2—浇口杯　3—浇道　4—模样　5—起模针
6—水平仪　7—铁液溢流口　8—弯形通气针</td></tr>
<tr><td>序号</td><td>工 序 操 作 要 点</td></tr>
<tr><td>1</td><td>在软砂床面上摆放模样</td></tr>
<tr><td>2</td><td>模样上垫上木块，用小锤将模样轻轻敲入砂床内</td></tr>
<tr><td>3</td><td>当模样顶面与砂床面平时，用水平仪校正水平</td></tr>
<tr><td>4</td><td>用压铁压好模样</td></tr>
<tr><td>5</td><td>在模样周围补填型砂并舂实</td></tr>
<tr><td>6</td><td>用水平仪再校一次模样</td></tr>
<tr><td>7</td><td>用刮板刮去高出模样的型砂</td></tr>
<tr><td>8</td><td>用镘勺（砂刀）修光</td></tr>
<tr><td>9</td><td>用弯形通气针扎出出气孔（图示）</td></tr>
<tr><td>10</td><td>开浇道及溢流口</td></tr>
<tr><td>11</td><td>起模、模样周边刷点水、轻敲模样、扎上起模针，边起模边敲，完成起模操作</td></tr>
<tr><td>12</td><td>修型，放好浇口杯，待浇</td></tr>
</table>

在硬砂床中能进行刮板造型、组芯造型、刮板-实模造型、实模造型等。采用实模地坑造型时，取得型迹的方法有两种：一是卧入法（又称印迹法，或复印法），二是覆盖法（又称外舂法）。

卧入法——是先将模样卧入砂床；起出模样；挖去被模样压紧的型砂部分，而在疏松或没有与模样接触的地方补填型砂。再将模样卧入和起出，采用同样方法修整型迹，如此反复操作，直至模样与型砂处处接触，型迹清楚，紧实度均匀为止。最后将模样再次校正水平后，填舂型砂后起模，如图 5-10 所示。

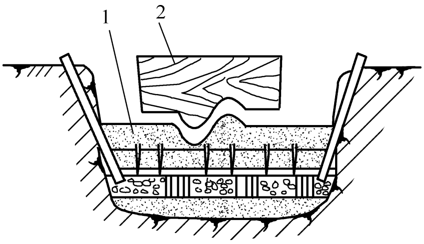


图 5-10　卧入法形成型迹
1—砂床　2—模样

覆盖法——是在结构上模样底部具有凹入部分时，可将模样反放在砂床近旁，在模样凹入部分填型砂、刮平、扎出气孔，再以模样一边为轴线将其翻转扣在铺平的砂床上。校正模样水平后，压上压重，填舂型砂后起模，如图 5-11 所示。

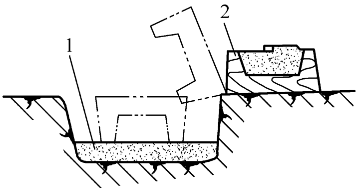


图 5-11　覆盖法形成型迹
1—砂床　2—模样

1）硬砂床大件、特大件的地坑造型方法见表 5-63。

表 5-63　硬砂床大件、特大件的地坑造型方法

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="4">操 作 要 点</th></tr>
<tr><td rowspan="9">1</td><td rowspan="9">摆放模样</td><td rowspan="5">（1）当模样底面为大平面时</td><td>1）先舂填一层面砂</td><td>在砂床上填入一层面砂，舂实</td></tr>
<tr><td>2）刮平</td><td>用刮板刮平、刮光</td></tr>
<tr><td>3）卧入基准钢管</td><td>沿刮平的表面，放入两根平直钢管</td></tr>
<tr><td>4）校平基准钢管</td><td>用水平仪校平钢管，作为基准面</td></tr>
<tr><td>5）放入模样</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">（2）当模样底面不是平面时</td><td>1）先将模样放入砂床</td><td>将底面不是平面的模样放入砂床</td></tr>
<tr><td>2）垫耐火砖</td><td>用耐火砖将模样垫平稳</td></tr>
<tr><td>3）校平</td><td>用水平仪校平模样</td></tr>
<tr><td>4）压重</td><td>在模样上部压上压重，以稳定模样不移动</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">填舂面砂及加固（砂钩）</td><td colspan="2">1）从模样上的舂砂孔和侧面填入面砂，舂实，且硬度要均匀
2）每次填入松散面砂厚度约 200mm，舂实后厚度小于等于 100mm。特大件每次填入面砂厚度约 150mm，舂实后厚度小于等于 70mm。面砂层总厚度在 60 ~ 100mm，大件取上限
3）每舂 2 ~ 3 层，要埋入一层砂钩，砂钩间距约 200mm，上下两层交错排列</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">砌出耐火砖管浇道</td><td colspan="2">1）横浇道用耐火砖管，距模样大于等于 250mm 的端部用耐火砖堵严，并用铁棍捣固
2）内浇道距型腔面 10 ~ 20mm，以便修出圆角</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">易缩处填入松散层</td><td colspan="2">凡阻碍铸件与冒口收缩的部位，均要有松散层，如放锯末、泡沫塑料块等，以提高退让性</td></tr>
</table>

（续）

序号	操作要点	
5	型芯排气	1）在砂芯排气方向设置出气孔。当砂芯需经上型排气时，则需在上型标定位置设置钢管或耐火砖管排气孔 2）型腔较深的砂型，舂砂时沿模样四周放立圆钢杆，修分型面时抽出圆钢杆留下出气孔，并用干砂填满 圆钢杆直径为 ϕ20 ~ ϕ25mm，距模样距离为 100 ~ 150mm，排气孔间距为 200 ~ 400mm
6	上型吊钢杆格架加固	为防止型塌箱，较大的砂箱可用圆钢杆纵横排列绑成格架，用铁丝吊在箱带上 格架表面距型面 10 ~ 20mm，格子间距为 150 ~ 200mm
7	打好合型定位号	上型舂好箱后，要打好合型定位号才能开箱
8	标出砂芯装配定位标记	起模前，在型面上划出装配砂芯的有关定位线，并做好牢固的标记
9	起模	对较高的模样，为方便起模，在舂砂时，每舂 500 ~ 600mm 高度时，敲击模样一次
10	补砂	模样上难以舂砂的凹槽、凸块，起模后卧入，或补出
11	修型	将在砂型中的松软、损坏、露出背砂的地方，要用面砂舂实修光。修型踩在木板上操作。粘土砂型应插钉子加固，钉距 80 ~ 100mm
12	砂型检查	按铸造工艺图中的技术要求和工艺规程，仔细检查砂型的形状和尺寸、浇冒口等是否合格
13	上涂料	合格后，按砂型类型刷涂相应的涂料
14	烘干	上砂型可进窑干燥，地坑里的砂型就地烘烤

2）地坑刮板造型方法见表 5-64。

表 5-64　地坑刮板造型方法

序号	操作要点
1	轴杆要垂直和牢固安置，当刮板较高时，轴杆的上端要用压梁固定，压梁要平稳
2	按工艺图样尺寸固牢刮板
3	固牢刮板时，要使分型面略低于坑沿，刮板固紧后旋转一周，检查轴杆垂直度。在使用双轴杆刮板造型时，刮板要在一个平面上
4	大型铸件刮板造型时，一般应用舂砂网舂制砂型，分别舂实、刮制。砂型的侧面和凸出的砂胎要用砂钩加固
5	砂型全部刮制好以后定基准线，依此画出装配、合型的十字线和相关线
应用	地坑刮板造型适用于生产大型圆圈形铸件

3）地坑组芯造型。全部或大部分型腔由二氧化碳硬化的水玻璃砂芯组装而成，只是铸型的底面或一小段的侧面是用实体模样舂制而成的。首先要舂制好地坑的基准面，划好配芯的相关线。舂制上型时，要注意模样活块和冒口的定位，防止偏箱。

地坑组芯造型如图 5-12 所示。

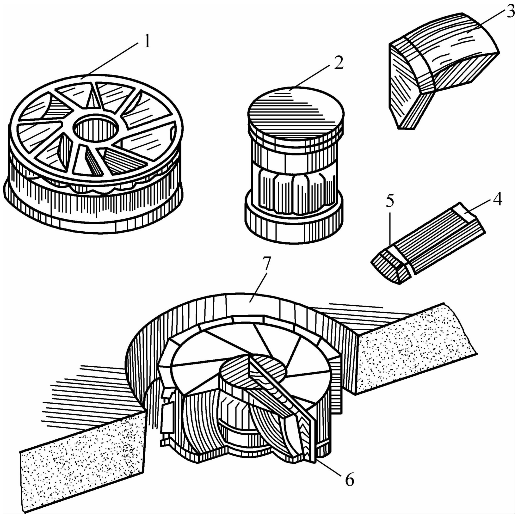


图 5-12　地坑组芯造型

1—铸件　2—轴孔砂芯　3—轮叶砂芯　4—外形砂芯
5—浇道　6—样板　7—地坑

组芯造型可向机械化地坑组芯造型发展，其工艺方法由标准化芯块的制作、带活动壁的机械化地坑装置和铸型在机械化地坑中的装配三部分组成。这种方法简化了地坑的准备、砂床的制作、造型、铸型装配与紧固等一系列手工操作工序，能大幅度减轻劳动强度和提高劳动生产率。

5.1.5　手工制芯

1. 型芯的作用及分类

（1）型芯的作用及特点　主要是用来形成铸件的内腔、穿透孔，有时也用于组成铸件的外形。它是构成铸型型腔的重要组成部分。

由于型芯四面受高温金属液所包围，受到的冲刷和烘烤比砂型更厉害。在冷却过程中由于凝固收缩，受到很大压缩力，因此要求型芯必须具有比砂型更高的强度、耐火度、透气性和退让性等特点。

（2）型芯的分类方法　按型芯本身特点分类，见表 5-65。

表 5-65　型芯的分类

型芯分类方法		型　芯　特　点
按芯子复杂程度分五级	1 级型芯	形状复杂，断面细薄，大部分被液体金属包围，在铸件里构成各种小通道，而且排气困难，构成不加工内腔 要求型芯干强度很高，并有一定韧性，流动性好，发气量少，溃散性好。而对湿强度要求可低些，其粘结剂主要是油脂、树脂类 如构成重要的不加工内腔、汽车内燃机缸盖、缸体中的水套型芯
	2 级型芯	形状较复杂，主体部分断面较厚，但有非常细的凸缘、棱角或肋片，大部分表面被金属液包围，但芯头稍大，构成重要的不加工或部分不加工表面 要求型芯干强度较高，流动性和溃散性好，而对湿强度要求可低些，其粘结剂中可适当用些粘土 如构成重要的不加工或部分不加工表面、汽车气缸体的侧面气门室型芯
	3 级型芯	一般复杂程度，没有特殊细薄面，用来形成重要的不加工表面的各种中心型芯，要求型芯的干强度、流动性、溃散性比 1、2 级型芯低一些，而湿强度则比它们高，以保证在烘干前不因型芯自重而发生变形。其粘结剂中可适当用一些粘土 如构成重要的不加工面，汽车气缸体曲轴箱型芯
	4 级型芯	一般复杂程度和不复杂的外廓型芯。同时构成为机械加工的腔膛，但并不要求很细的表面粗糙度的型芯 要求型芯湿强度高，退让性好，具有一定的干强度和透气性 如构成需要加工的内腔，或虽构成不加工但对内表面无特殊要求的内腔。如汽车前后轮毂型芯、后桥型芯
	5 级型芯	大型型芯，构成大型铸件的很大的内腔，对型芯要求同 4 级 如大型机床和底座型芯
按体积大小分三类	小型芯	体积 $<0.005m^3$
	中等型芯	体积 $0.005\sim0.05m^3$
	大型芯	体积 $>0.05m^3$
按干湿程度分三类	湿型芯	用中、小型薄壁铸件
	干型芯	大、中、小铸件均适用
	表干型芯	用于中、小铸件，以及某些不重要的大件
按粘结剂分五类	粘土型芯	粘结剂为粘土、膨润土
	水玻璃型芯	粘结剂为水玻璃
	水泥型芯	粘结剂为水泥
	油、合脂型芯	粘结剂为桐油、亚麻油、合脂
	树脂砂型芯	粘结剂为呋喃树脂等

按型芯制造方法分类。手工制芯方法根据型芯尺寸、形状、批量、生产条件进行选择，见表 5-66。

表 5-66　手工制芯方法分类

<table>
<tr><th colspan="3">手工制芯方法分类</th><th>特　　点</th><th>应　　用</th></tr>
<tr><td rowspan="4">芯盒制芯</td><td colspan="2">整体式芯盒制芯</td><td rowspan="4">用芯盒的内表面形成型芯的形状，型芯尺寸准确，可制作小而复杂的型芯</td><td rowspan="4">各种形状、尺寸和批量的型芯，均可采用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">对分式芯盒</td><td>卧舂制芯</td></tr>
<tr><td>立舂制芯</td></tr>
<tr><td colspan="2">脱落式芯盒制芯</td></tr>
<tr><td rowspan="2">刮板制芯</td><td colspan="2">刮板制芯</td><td rowspan="2">与刮板造型相似</td><td rowspan="2">单件小批生产。形状简单或回转体的型芯</td></tr>
<tr><td colspan="2">导向刮板制芯</td></tr>
</table>

2. 型芯的结构

典型的型芯结构，包含芯身（形成铸型的一部分）、芯骨、芯头和出气孔，如图 5-13 所示。

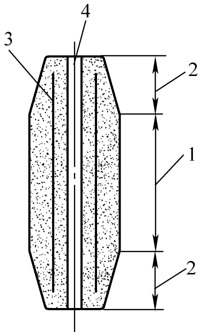


图 5-13　型芯结构

1—芯身部分　2—芯头部分　3—芯骨　4—出气孔

（1）芯骨

1）芯骨的作用与使用要求见表 5-67。

表 5-67　芯骨的作用与使用要求

作用	1）便于吊运。芯骨上均设有吊环装置，便于大型型芯的吊运 2）增加型芯的强度和刚度。由于芯骨的增强作用，使型芯在吊运和受金属液冲刷时不变形和断裂 3）固定型芯。用铁丝和螺栓将芯骨拉住，并和箱带连接，使型芯固定 4）排除气体。中、大型圆柱型芯用铁管作芯骨，铁管的内孔是型芯的排气通道
使用要求	合格的芯骨必须满足以下使用要求： 1）具有足够的强度和刚度 2）不应妨碍铸件收缩 3）清砂时容易取出 4）设置的吊环必须保证起吊平稳 5）结构简单，方便制芯 6）有合适的吃砂量

2）芯骨的种类和制作方法。选用芯骨应根据型芯结构和工作条件进行，芯骨的种类和制作方法见表5-68。

表5-68　芯骨的种类和制作方法

序号	种类	制　作　方　法
1	铁丝芯骨	铁丝须经退火处理 小型芯的简单芯骨，多用手工弯制成铁丝芯骨，当铁丝芯骨形状较复杂且数量较多时，可用靠模弯制，中型型芯芯骨可用铁丝扎成格架框
2	圆钢芯骨	大、中型芯骨可用不同规格的圆钢焊接成所需形状
3	管子芯骨	柱形铸件芯骨可用壁上钻有许多小孔的铁管制成
4	铸铁芯骨	由骨架、骨齿、吊环组成。应用最广泛，特别是用在中、大型型芯上
5	可拆式芯骨	芯骨的顶端可插入另段芯骨的斜方孔中连接起来。清砂时只要在芯骨头部撬动芯骨，可将其抽出

3）铸铁芯骨的结构和尺寸。铸铁芯骨的结构是由骨架、骨齿和吊环构成，如图5-14所示。

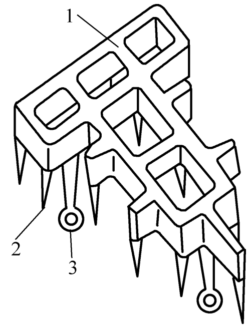


图5-14　铸铁芯骨的结构
1—骨架　2—骨齿　3—吊环

在制作铸铁芯骨时，要考虑使用时的要求，一般要确定四个主要尺寸，即骨架截面尺寸（见表5-69）、骨齿直径（见表5-70）、吊环直径（见表5-71）和芯骨的吃砂量（见表5-72）。

表5-69　骨架截面尺寸

型芯（长/mm×宽/mm）	型芯高度/mm				
	≤100	>100～200	>200～500	>500～1500	>1500
	骨架截面尺寸（高/mm）×（宽/mm）				
<500×500	25×20	25×20	30×25	45×35	55×40
>500×500～1000×1000	30×25	30×25	30×25	45×35	55×40
>1000×1000～1500×1500	30×25	45×35	45×35	45×35	55×40
>1500×1500～2500×2500	45×30	45×35	45×35	55×40	70×50
>2500×2500	45×30	45×35	55×40	55×40	70×50

表 5-70　铸铁芯骨骨齿直径　　（单位：mm）

型芯高度	插齿直径	型芯高度	插齿直径
<300	10 ~ 15	500 ~ 800	20 ~ 25
300 ~ 500	15 ~ 20	800 ~ 1200	25 ~ 30

表 5-71　芯骨铸入吊环直径

型芯 （长/mm × 宽/mm）	芯骨高度/mm				
	<100	>100 ~ 200	>200 ~ 500	>500 ~ 1500	>1500
	吊环直径/mm				
<500 × 500	3	5	8	8	12
>500 × 500 ~ 1000 × 1000	8	8	10	12	12
>1000 × 1000 ~ 1500 × 1500	8	8	12	112	15
>1500 × 1500 ~ 2000 × 2000	8	12	12	15	15
>2500 × 2500	12	12	15	15	15

注：1. 材质：芯骨上铸入的吊环用铁丝或圆钢弯制而成。
2. 按每个型芯用 4 只吊环计，若减少吊环数目，则要相应加粗。ϕ12mm 的 4 只吊环可承载 3.5t，ϕ15mm 的 4 只吊环可承载 5.5t。

表 5-72　芯骨的吃砂量

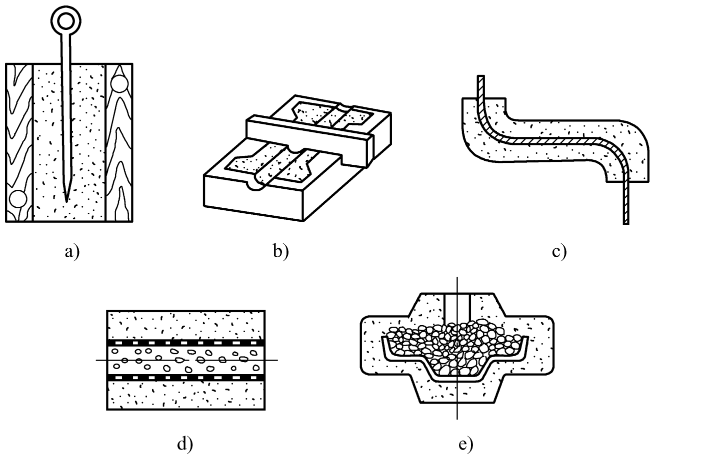
型芯尺寸（长/mm）×（宽/mm）	吃砂量/mm	型芯尺寸（长/mm）×（宽/mm）	吃砂量/mm
<300 × 300	15 ~ 25	1000 × 1000 ~ 1500 × 1500	30 ~ 50
300 × 300 ~ 500 × 500	20 ~ 40	1500 × 1500 ~ 2000 × 2000	40 ~ 60
500 × 500 ~ 1000 × 1000	25 ~ 40	2000 × 2000 ~ 2500 × 2500	50 ~ 70

（2）型芯的排气　浇注时，为使在型芯中产生的气体能顺利通过芯头及时排出，在型芯中都要开设出气孔。

1）对型芯中开设的出气孔应要求：①尺寸要足够大、数量足够多，才能保证产生的气体都能及时排出；②气孔要相互连通，不可中断或堵死；③气孔只应从芯头处引出，不应通到型芯的工作面，以免金属液钻入堵塞气孔。

2）型芯的排气方法见表 5-73。

表 5-73　型芯的排气方法

<table>
<tr><td>简图</td><td colspan="3">
型芯的排气方法
a）用通气针扎出出气孔　b）用刮板刮出出气孔　c）用蜡线　d）用钢管　e）埋焦炭</td></tr>
<tr><td>序号</td><td>排气方法</td><td>型　芯　特　点</td><td>排气孔开设方法</td></tr>
<tr><td>1</td><td>用通气针</td><td>简单的小型芯（如圆柱体型芯）</td><td>用通气针在舂好的型芯上扎出出气孔（出气眼）</td></tr>
<tr><td>2</td><td>抽粗铁丝</td><td>细长的型芯</td><td>用一根比型芯长一些的粗铁丝埋入型芯中，舂实后抽出铁丝，在芯中留下出气孔</td></tr>
<tr><td>3</td><td>抽绳子</td><td>弯曲度不大的弯曲型芯</td><td>用光滑的绳子埋入型芯中，舂实后抽出绳子，留下出气孔</td></tr>
<tr><td>4</td><td>用蜡线或松香线</td><td>断面较薄，形状复杂的型芯</td><td>用蜡线（或松香线）埋入芯中，型芯经烘烤，蜡线熔失，留下出气孔</td></tr>
<tr><td>5</td><td>用草绳</td><td>断面厚大，形状复杂的型芯</td><td>用草绳埋入芯中，烘烤后草绳烧去，留下出气孔</td></tr>
<tr><td>6</td><td>用铁管</td><td>长圆柱体大、中型芯子</td><td>用管壁上钻有许多小孔的铁管作芯骨，铁管的管道就是出气孔</td></tr>
<tr><td>7</td><td>用工具、刮板、专用气路压板</td><td>分两半舂砂，再合并一个整体型芯</td><td>合芯前，在合并面上，用工具挖出，或用刮板刮出，或用专用气路模板压出出气孔</td></tr>
<tr><td>8</td><td>用焦炭</td><td>断面厚大的型芯，只有出气道还不够时</td><td>在距芯盒壁 50 ~ 100mm 埋入小焦炭块，或炉渣，或干砂块等加强通气材料</td></tr>
</table>

3）蜡线的配制及储存方法见表 5-74。

表 5-74　蜡线的配制及储存方法

蜡线原材料	气温/℃					
	-5 ~ 5	6 ~ 15	16 ~ 25	26 ~ 30	31 ~ 35	>36
	配比（质量分数,%）					
白蜡	60	60	50	40	40	40
松香	40	40	50	60	60	60
全损耗系统用油	10	8	6	3	2	1
配制方法	1）在铁锅里放入白石蜡和松香，加热 100 ~ 150℃熔化 2）徐徐加入全损耗系统用油（机油） 3）搅拌均匀 4）用棉线反复进行浸拖，移出冷却，到蜡线所需要的粗细为止					
储存方法	1）在室温 <30℃时，可保存在粘土粉中 2）室温 >30℃时，应保存在冷水中					

3. 芯盒制芯方法

芯盒是制芯的工艺装备。有木质、金木结构、塑料、铝合金等多种芯盒，最常用的是木质芯盒。木质芯盒由多块木料，按一定形式拼接组合而成。根据铸件的尺寸精度、表面质量要求，以及芯盒重复使用的程度，木质芯盒分为三个等级（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）。制芯工在手工制芯操作之前，应对木质芯盒质量进行如下检查：

1）按铸造工艺图或工艺卡核对芯盒、刮板的数量。

2）了解芯盒的结构、出砂顺序、出气方式、吊芯位置及吊芯方式等。

3）检查芯盒的变形情况，有无裂纹、磨损情况。

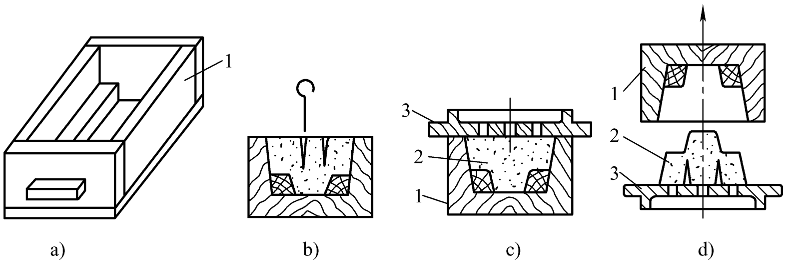
4）活动部分的松动情况，活动部分有无丢失。

5）卡紧装置是否可靠。

6）检查木质芯盒的定位装置。对开式木质芯盒分盒面处应安装定位装置，以防砂芯错边。

（1）整体式芯盒制芯方法　见表 5-75。

表 5-75　整体式芯盒制芯方法

简图	 a）整体式芯盒　b）向芯盒填砂　c）紧实制芯　d）砂芯置于烘干板上 1—芯盒　2—型芯　3—烘干板

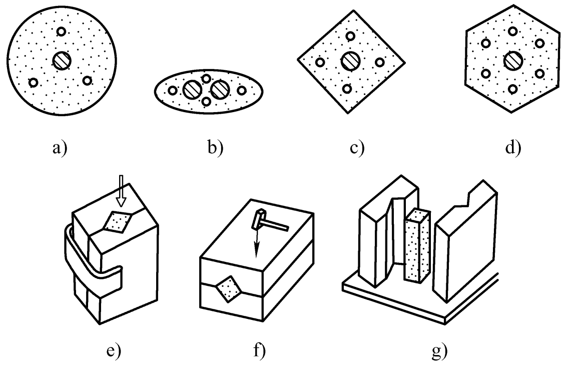
（续）

应用	适用于形状简单，并且有一个较大平面的中、小型型芯
序号	制芯工序及操作方法
1	芯盒内清理干净，放在制芯的铁平台上，并试放芯骨
2	填舂一层芯砂，芯砂厚度一般为 30～40mm。较大型芯手工舂时为 70～80mm，风动砂舂子舂时为 100～150mm
3	在芯骨上刷泥浆水或水后，将芯骨正放（指骨架在上，骨齿和吊环在下）在芯盒里。用锤轻轻下敲芯骨，使之与芯砂贴合，并且稍低于芯盒上平面
4	填入通气材料，如焦炭、草绳等
5	继续填砂舂实舂满后，用刮板刮去高出芯盒平面的芯砂
6	用通气针扎出气孔
7	放上烘芯平板，与芯盒一起翻转 180°，并松动
8	取去芯盒，型芯留在烘芯板上
9	若需吊运，则应挖砂露出吊环
10	修整型芯，刷涂料

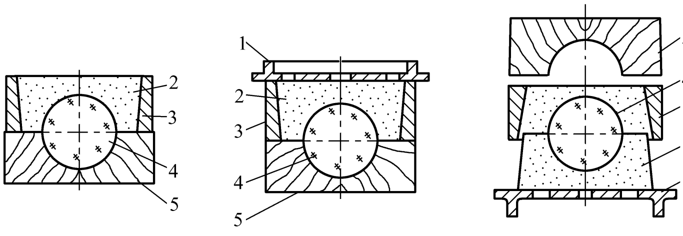
（2）对分式芯盒制芯　对分式芯盒分为垂直对分式和水平对分式两种，两半芯盒要有定位和夹紧装置。

1）垂直对分式芯盒制芯见表 5-76。

表 5-76　垂直对分式芯盒制芯

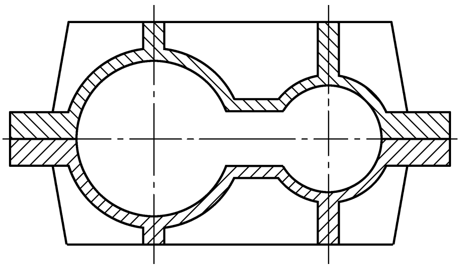
简图	 a）圆柱形型芯　b）椭圆形型芯　c）方柱型芯　d）六棱柱型芯 e）夹子夹紧芯盒舂砂　f）芯盒放平、松动　g）取出型芯
应用	应用于短粗的圆柱状、椭圆状、方柱状、六棱柱状型芯
序号	制芯工序及操作方法
1	将芯盒清理干净，检查定位销和定位孔配合是否完好，合上两半芯盒，并用夹钳夹紧
2	填入芯砂，并舂实到一定高度（50mm 左右）

（续）

序号	制芯工序及操作方法
3	敲入沾有泥浆的芯骨（长度比芯盒短 5 ~6mm）
4	继续填舂芯砂至满，并刮平型芯上端面
5	沿型芯轴线扎出贯通型芯的出气孔
6	取下夹钳，芯盒放平，轻敲芯盒，使型芯芯盒间产生微小间隙（图 e）
7	打开芯盒，取出型芯
取芯方法	1）短粗型芯，芯盒可垂直打开，型芯垂直放在烘芯板上（图 g）。或用于轻轻支持着型芯，将下半芯盒翻转，并取走，把型芯放在烘芯板上
	2）油砂芯的湿强度低。取走上半芯盒后，把一个比型芯稍大的框子套在型芯上，往框内填入芯砂，盖上烘芯将下半芯盒、框子、烘芯板一同翻转 180°。取走下芯盒和框子，型芯留在有砂托的烘芯板上，如下图所示：  a)　　b)　　c) 湿强度低的砂芯用砂托 a）放砂框填砂　b）芯盒翻转前　c）型芯留在烘芯板砂托上 1—烘芯板　2—砂托　3—砂框　4—型芯　5—芯盒
	3）用成型烘芯板取走湿强度低的型芯

2）水平对分式芯盒制芯见表 5-77。

表 5-77　水平对分式芯盒制芯

水平对分式芯盒简图	
应用	适于制作细长圆柱状型芯

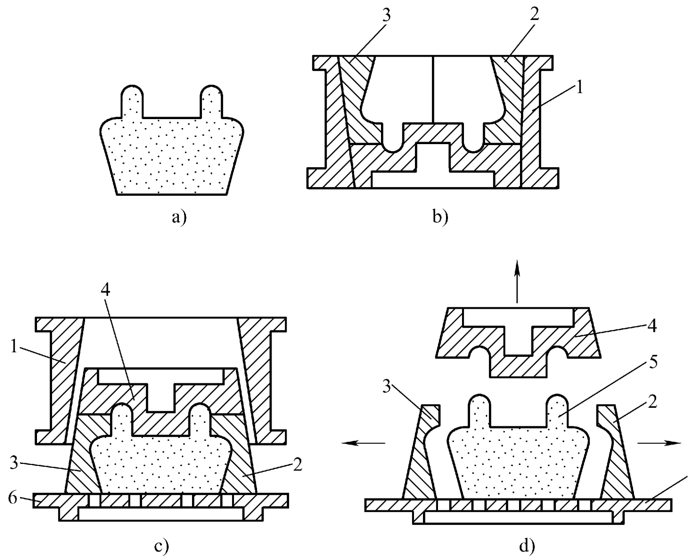
（续）

序号	制芯工序及操作方法
1	两半芯盒平放于制芯平台上
2	在一半芯盒里填实芯砂，同时，放入浸过泥浆或水的芯骨，刮去多余芯砂，使芯砂略高出芯盒分盒面
3	在另一半芯盒里填舂芯砂。舂实过程中放入芯骨，刮平。用工具在刮平的表面上沿中心线挖出一条出气孔
4	在刮平的平面上刷一层泥浆水
5	合上两半芯盒，用锤敲击芯盒顶部，使上下两半型芯粘合在一体
6	填补并修平型芯两端面。注意保持出气孔畅通
7	取去上半芯盒
8	取芯。用手托着翻转下芯盒，倒出型芯 对要求较高、形状复杂的型芯，两半型芯分别烘干后，再粘合为整芯

（3）脱落式芯盒制芯　在脱落式芯盒中，把妨碍型芯起出的部分做成活块，取芯时，活块和型芯一起倒出，然后从不同方向取下各个活块。可见，脱落式芯盒的结构是：外部是芯盒套框，框内是由形成型芯的芯盒、活动块组成。套框内壁与活动块的结合面有相应斜度且贴合严密，如表5-78中图所示。

脱落式芯盒的制芯方法见表5-78。

表5-78　脱落式芯盒的制芯方法

脱落式芯盒制芯简图	 a）型芯　b）脱落式芯盒　c）取去套框　d）活块从型芯上各方向取走 1—芯盒套框　2、3—左右半圆活动块　4—底座　5—型芯　6—烘芯板

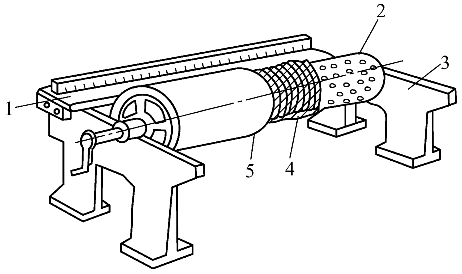
（续）

应用	形状复杂，或起模斜度小，难以直接从芯盒中取出的型芯	
序号	操　作　特　点	
1	制芯前要检查芯盒	1）活块数目是否缺少，活块安放的位置是否错位、颠倒 2）芯盒套框与活块贴合是否严密，取出是否顺畅 3）需紧固的芯盒，夹具夹紧是否牢固，以免舂砂时型芯胀大
2	制芯过程中，应做到	1）舂砂时，要防止活块移动，防止形状复杂的凹槽漏舂 2）芯骨位置安放要正确，以便平稳的吊运 3）紧实度要均匀 4）出气孔分布应均匀，排气畅通
3	取芯	1）取芯顺序：先放烘芯板→烘芯板与芯盒一同翻转 180°→提取套框→抽取活块→留下型芯 2）取出活动后，仔细检查活块周圆芯砂的紧实度，并进行修整 3）从型芯上取下的活块，立即放回芯盒原处装上，以防散失。应让活块在原位准确落下，不准硬性敲打

4. 刮板制芯

（1）刮板制芯方法　见表 5-79。

表 5-79　刮板制芯方法

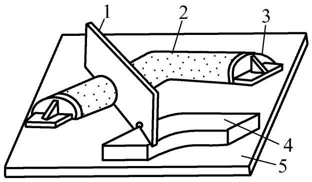
刮板制芯简图	 1—刮板　2—芯骨（铁管）　3—刮板架　4—草绳　5—型芯		
应用	截面尺寸较大的圆柱形型芯		
序号	制芯工序		操　作　方　法
1	检查刮板及预固定	1）刮板	刮板是按型芯形状制作的一块厚 20 ~ 25mm 的木板，必须符合工艺图对其形状尺寸的要求。为减少磨损，木板工作边沿应镶一层厚 2 ~ 3mm 的钢板
		2）预固定	将合格的刮板预固定在刮板架上，刮板应可以径向移动，以调整型芯直径尺寸

（续）

序号	制芯工序		操　作　方　法
2	芯骨准备与安装	1）选用铁管芯骨	根据型芯大小选用铁管。铁管直径一般取型芯最小直径的1/3，管壁应钻有 $\phi5\sim\phi7$mm小孔（排气），孔距为25～30mm 对大型型芯，在管子外面沿长度方向均匀地套上一些铁箍，在外箍外围均匀地扎上一些圆钢，以使芯砂与芯骨牢固连接
		2）安装铁管芯骨	在刮板架上安放铁管。对很大的型芯，管内可装一支钢轴，通过肋条与管子焊接成整体，放入刮板架轴承中或托轮上
		3）缠草绳	将草绳一头用铁丝固定在管子一头，顺序缠在管壁上，边绕边锤实，1层或2层（两层之间糊上烂砂泥）
		4）捆铁丝，钉扁钉	缠好的草绳周围捆铁丝，并钉上敲扁钉头的扁钉，形成棍刺状。铁钉应低于型芯表面5mm左右
		5）烧去硬毛头	用火烧掉最后一层草绳上的硬毛头
3	校正刮板位置并锁定	1）调整刮板位置	刮板工作边距铁管表面距离等于（型芯直径－铁管外径）/2
		2）锁定刮板	当刮板距离调整校正正确后，拧紧压板上的螺钉，将刮板锁定在刮板架上
4	试刮制	1）试刮制两段型芯	在芯骨两端，各试刮一段型芯
		2）检测	用卡钳检测试制的两段型芯。若尺寸不符，重新调整
5	刮制型芯	1）外敷一层烂砂	在紧缠的一层草绳上，敷上一层厚约10mm的烂砂（指芯砂＋水拌成的糊状物）
		2）敷芯砂舂实	敷上芯砂，并舂实
		3）转动芯骨刮制	边转动边刮去多余的芯砂，直至刮成工艺图所要求的型芯尺寸。型芯厚一般为25～80mm
		4）刮光	敷上层细而稀的烂芯砂，刮制出表面光洁的型芯
6	检测		用外卡钳和刻度直尺，在刮板架上检测型芯外径。如有偏差及时修整
7	刷涂料		根据铸件材质，在刮板架上对型芯刷上相应的涂料
8	烘干准备		烘干前，为避免炉气进入铁管烧掉草绳，用型砂将铁管两端堵塞

（2）导向刮板制芯方法　见表5-80。

表5-80　导向刮板制芯方法

导向刮板制芯简图	 1—刮板　2—型芯　3—挡板　4—导向板　5—底板

（续）

应用	只能刮制截面形状（半圆形、多边形，或异形）没有变形的型芯	
序号	制芯工序	操　作　方　法
1	检查模具	1）刮板、导向板形状和尺寸应符合工艺图 2）底板上装有供刮板移动的导向板，应用螺钉牢固固定在底板上 3）底板上固定的两个半圆挡板之间的距离应正好可放下所需要的型芯 4）刮板上应有一个沿导向板边沿移动的缺口
2	填一层芯砂	在两个半圆挡板之间，铺上一层厚 10～20mm 芯砂
3	放芯骨	将浸过泥浆或水的芯骨放上
4	放通气材料	根据型芯结构的大小，选放小焦炭、草绳或蜡线等
5	继续填舂砂芯	填砂时可作一个辅助木框套上，以防舂砂时芯砂散开
6	刮制砂芯	用刮板沿导向板移动，刮去多余的芯砂，制成半圆型芯
7	刷涂料	就地刷涂料
8	型芯放在烘芯板上送去烘干	用砂托的方法将型芯放在烘芯板上，进窑烘干
9	制另半型芯	方法同序号 1～8
10	组合型芯	将两半型芯组合，形成一个整芯

5. 制芯工艺规则

（1）制芯前的准备

1）读懂工艺图和有关文件，弄明白与制芯工艺有关的内容。

2）检查芯盒。①芯盒内应干净；②芯盒的数量、编号；③芯盒工作面应完整，如有变形、缺损、凹坑、裂纹、尺寸偏差、活块定位装置松动量超过规定范围，应退回修整；④芯盒上的夹紧装置如紧固卡、紧固螺栓应安全可靠；⑤芯盒上的定位装置如定位孔、定位销应齐全，配合灵活、严密；⑥必要时，为防粘模，可刷上相应的脱模剂，如煤油、全损耗系统用油（机油）或滑石粉。

3）检查芯骨。①芯骨的结构和尺寸必须符合工艺图要求；②芯骨必须保证型芯有足够的强度和刚度，不妨碍铸件收缩和排气，清砂时容易取出；③芯骨应保证型芯硬化（指水玻璃型芯、树脂自硬型芯等）或烘干（指粘土型芯）后能吊动。芯骨上吊环应有足够强度，铸入或焊接位置能保证吊运的型芯平稳。

4）检查冷铁。铸钢件型芯上的外冷铁，材质必须也是钢的，尺寸形状符合工艺图要求，表面干净无锈蚀和油污，平整，与铸件上圆角相吻合。

5）芯砂与涂料。芯砂与涂料必须符合工艺规定，性能合格。

（2）舂砂

1）芯盒放稳、对好活块、夹紧后方可填砂舂实。

2）放芯骨。①芯骨上松散的型砂应清干净；②放入芯盒之前，芯骨需要刷上泥浆水或清水润湿；对水玻璃砂芯，用水玻璃润湿；油型芯时要刷桐油；③放芯骨时，

芯骨要有一定的吃砂量；④大型芯，当芯骨的骨齿向下时，应先填入 100 ~ 150mm 的芯砂，舂实铺平后敲入芯骨，应防止骨齿刺伤芯盒工作表面。当芯骨骨齿向上安放时，砂层应薄一些；⑤细薄型芯，应放扁铁、铁钩、圆钉等加强物，必要时应与芯骨扎牢。

3）大型芯的芯撑支撑处，舂砂时应放上垫铁块或耐火砖。

4）外冷铁放入时应刷上硅石粉涂料。

5）舂砂，应沿着外沿四周向中心舂实，严禁直接冲击芯盒内壁，紧实度要均匀，不易舂实处要用手工塞紧，活块和冷铁不要舂错位。

6）型芯的舂砂要保持平整。

7）对于刮板制芯，要求按工艺图校正刮板位置，粗刮后应扎排气孔至焦炭层，孔口要堵死修光。刮砂应严防表面夹层，刮好后应进行修补。

8）对卷筒型芯，钢管芯骨上的草绳要缠紧且结实。箍带、芯骨齿要固牢，骨齿吃砂量一般为 15 ~ 40mm。分层舂砂，紧实度要均匀，在舂后一层砂之前应先将前一层砂的光滑面划毛，以防夹层。在刮砂前应先检查尺寸应符合工艺图要求。

（3）型芯排气要畅通

1）根据型芯结构和大小应分别选用适当的排气方法。

2）气道不应中断或堵塞，排气道的排气口应设在芯头处，以使浇注时型芯产生的气体能顺利排出。

3）挖排气道并扎出气孔，出气孔距芯盒工作面 10 ~ 20mm，严防出气孔穿通到型芯表面。在工作面上扎出气孔时，应扎到焦炭层，并将孔口堵死修光。

4）型芯扎出气孔每平方分米不少于 3 ~ 4 个。

5）对分型芯，用手工在分芯面上开挖排气道，砂层较厚时，还须均匀地扎出气孔。

6）用蜡线作排气通道时，不应把蜡线撞断。

7）焦炭或炉渣作粘土砂型芯的排气道时，其要求见表 5-81。

表 5-81　排气道要求

型芯尺寸（长/mm）×（宽/mm）	焦炭块度/mm	焦炭距芯盒工作面距离/mm
<500 × 500	20 ~ 30	60 ~ 80
500 × 500 ~ 1000 × 1000	30 ~ 60	80 ~ 100
1000 × 1000 ~ 1500 × 1500	30 ~ 60	100 ~ 120
1500 × 1500 ~ 2000 × 2000	60 ~ 100	120 ~ 150
>2000 × 2000	100 ~ 200	150 ~ 200

（4）脱芯

1）松芯盒时，应用木锤头，或垫以木块敲动。

2）翻转芯盒时，要确保安全和型芯不变形。

3）放置型芯的平板要平整。易变形的型芯应用专用的托芯板、成型烘芯板或砂

托。

4）无合适托芯板时，可用平板和砂箱。箱内按型芯外形铺填型砂作为托芯板。型芯之间用浸过煤油的纸隔开。

（5）修芯

1）型芯脱出后，检查各部松紧程度，填补疏松部分。

2）型芯上缺损较大处、变形处，应挖松后再行填补。修补处要保证型芯强度、形状尺寸、表面粗糙度符合工艺图要求。

3）大修处、大平面及突出部分应插钉子加固。

4）不要大修芯头，要保证芯头的准确尺寸。

5）按要求倒好圆角，削出披缝。

6）挖出吊环，坑洞不要挖的太大，以能进吊钩为准。

7）吊在上箱的大型芯，舂砂后应挖开挂吊螺钉的芯骨架。

8）若需在湿型芯上再装配辅助型芯时，应将型芯装配牢。两者通气道须连通，接缝应补好，以防金属钻入气孔。

（6）刷涂料

1）涂料只涂在型芯的工作面上。

2）上涂料的厚薄要均匀，表面没有溢流出现，不拖砂、不堆积。

3）铸铁小型芯刷一次中浓度炭灰水涂料，而大、中型芯应刷较厚的炭灰水涂料，当一次刷不厚时，待其稍干后再刷一次。

4）芯头部分可刷白泥浆涂料，以增加芯头表面强度和防止芯砂散落。

（7）装配

1）凡组合型芯，在型芯装配后应将缝隙挤牢，插钉子加固、绑牢，并检查尺寸符合要求。

2）两半型芯并合时，要刷泥浆水，并合要正确、紧密，并用铁丝、螺栓固牢或焊接牢固，修好接缝。排气道要畅通。刷好涂料后应烘干。

3）打好的型芯要标注零件图号和型芯编号。

4）工作结束时，应将芯盒对装好，整理干净，放置整齐，工作场地清扫干净。

5.2　湿型机器造型制芯

5.2.1　机器造型的工艺基础

造型过程包括填砂、紧实、起模、下芯、合型以及砂型和砂箱的运输。大部分造型机主要是实现填砂、紧实和起模工序的机械化。而合型、砂型和砂箱的运输，则由其他辅助设备来完成。

在造型机的填砂、紧实和起模三个主要功能中，紧实是更为重要的，它是造型机的工艺基础。因为现代化造型方法的目标，就是要获得一个紧实度高并且分布均匀的砂型。

1. 砂型的紧实度

（1）紧实度　砂型（芯）的成型过程，从某种意义上讲就是型砂的紧实过程，即把松散的型砂紧实为砂型。紧实度就是表示砂型中砂粒之间互相排列和堆积紧密的程度。砂粒堆积得越紧实，其紧实度就越大。砂型的紧实度可以用单位体积内型砂的重量表示，即

$$\rho=\frac{G}{V} \tag{5-1}$$

式中　ρ——砂型的紧实度；

G——型砂的重量；

V——型砂的体积。

不同状态下的型砂紧实度见表5-82。

表5-82　不同状态下的型砂紧实度

序号	型砂的状态	紧实度/(g/cm^3)	序号	型砂的状态	紧实度/(g/cm^3)
1	十分松散的型砂	0.6~1.0	4	高压紧实后的型砂	1.6~1.8
2	从砂斗填到砂箱的松散	1.2~1.3			
3	一般紧实的型砂	1.55~1.7	5	非常紧密的型砂	1.8~1.9

确定一个砂型的平均紧实度是比较容易的，只要知道砂型的总体积和总重量，就可以利用公式计算出来。但实际上砂型的紧实度并不是处处都一样的。若要知道某处的紧实度须破坏砂型，测量起来相当麻烦，而且很不容易准确，故这种方法生产中难以采用。

（2）砂型的表面硬度　紧实度虽可表示砂型内部各点紧实度的分布情况，但由于不好测量，生产中常用测定砂型表面硬度的方法，间接表示砂型的紧实程度。使用硬度计测量砂型的紧实度非常方便，且不会破坏砂型型腔，其缺点是不能测量砂型内部的紧实度。型砂表面硬度计的种类和应用见表5-83。

表5-83　砂型表面硬度计的种类和应用

类型	钢球直径/in①	加负荷/N	应　　用
A型	0.2	2.37	紧实度较低的湿型
B型	1	9.86	紧实度较高的湿型
C型	锥形压头	15.00	

①　1in=25.4mm。

（3）对砂型紧实度的要求　砂型经过紧实后而具有一定强度。对紧实后的砂型最低要求是：①能经受搬运或翻转过程中的振动而不塌落；②在浇注时砂型型面能抵抗住金属液的冲击、冲刷和压力。满足上述两个要求，方可能获取尺寸精确、内部致密、表面粗糙度值低的铸件。

对砂型紧实度的工艺要求，要根据实际生产条件而定。砂型表面硬度要求一般为：一般紧实后砂型为 60～80。手工造型或一般机器造型为 70。高压造型为 80～90。

2. 紧实方法（见表 5-84）

表 5-84　机器造型的紧实方法

序号	紧实方法		成型原理	砂型特点	应　　用
1	震实		借机械震击，紧实成型	上松下紧，常需补压	中小批量，一般铸件
2	压实	单纯压实	型砂借助于压头或模样所传递的压力紧实成型	按比压大小可分为三种： 低压 0.15～0.4MPa 中压 0.4～0.7MPa 高压 >0.7MPa	中、低压用于一般铸件中、小批生产 高压用于复杂铸件的大量生产
		单向压实	一般压实比压小于 0.4MPa	紧实度不均匀	简单扁平铸件，中、小批量生产
		差动压实（双向）	首先压头预压（上压），然后模样面补压（下压），最后压头端压	紧实度及均匀性比单向压实的高	复杂铸件，大量生产
3	震压	普通震压	震击加压实	紧实度高于震实式	
		微震压实	震击频率 400～500Hz，振幅小，可同时微震压实，也可先微震后压实	紧实度和均匀性都高	中、小复杂铸件，大量、成批生产
4	射压		借助压缩空气低压射砂预紧实，而后压头补压成型。压实比压：垂直分型大于 2MPa，水平分型小于 1MPa	紧实度及均匀性较高	简单件，大批量生产。特别适合无芯或少芯铸件
5	气流紧实	静压造型	过程： 1）在砂箱内填砂（模板上有通气塞） 2）用 0.45～0.6MPa 的压缩空气对型砂加压紧实（一般 0.3s），通入的压缩空气穿过型砂经排气塞排出，此时，越靠近模板处紧实度越高 3）用压头补压成型	上下紧实度均匀	中、小复杂铸件的中、大批量生产
		气流冲击	利用压缩空气，或燃气冲击，紧实砂型	紧实度均匀，且分布合理，靠模样处的紧实度高于砂型背面	中小复杂铸件的大批量生产。比静压造型具有更大适应性

（续）

序号	紧实方法	成型原理	砂型特点	应　　用
6	动压冲击	将高压多触头和冲击造型结合在一起的造型方法。触头可单独控制，有效长度可达砂箱高度的70%，紧实头的冲击速度可达5m/s	紧实度高，且均匀	中、小复杂铸件的大批量生产。尤其适合轮廓高差悬殊的铸件
7	抛砂	借高速旋转叶片把砂团抛出，打在砂箱内砂层上使型砂逐层紧实。常需人工补实		中、大铸件，单件小批生产
8	真空置换硬化（VRH法）	将水玻璃砂型置于真空室内，借助约0.05MPa的负压，使 CO_2 通过砂型硬化	紧实度高，且均匀	各类铸件的单件小批生产，尤其适用于尺寸大小接近的中小铸件

3. 翻箱与起模方法

翻箱和起模是紧密相连的两道工序。机器造型时，有时翻箱和起模分别由两台设备完成，即翻箱用翻箱机，起模用起模机。有时翻箱和起模在同一台造型机上完成（如Z2310型翻台式震击造型机）。

（1）翻箱机　翻箱机的作用是在下箱造完型后，把它翻转180°使分型面向上。按驱动方式不同，翻箱机有液压缸齿条式、曲柄式以及滚筒式三种。

图5-15是一种手动叉形翻箱机。造好型的下箱，从造型机送入其中的边辊道之间，托叉叉住箱把，将砂箱托起，这样以箱把为旋转轴心用手将砂箱翻转。

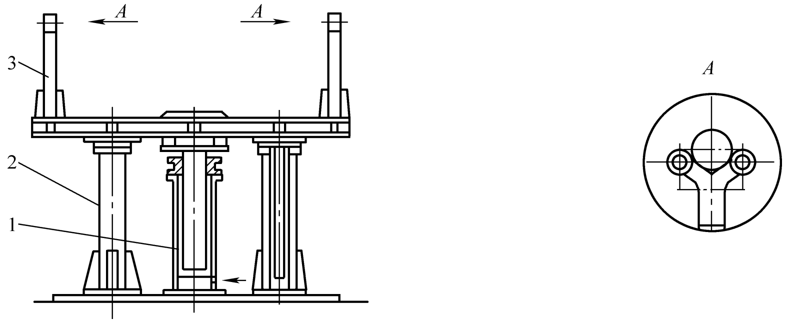
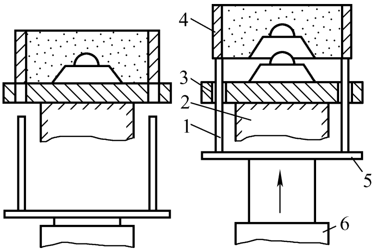
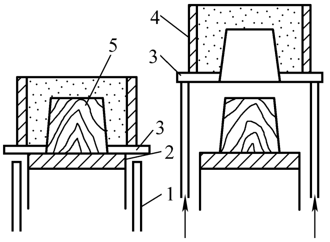
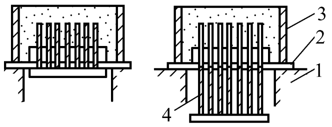
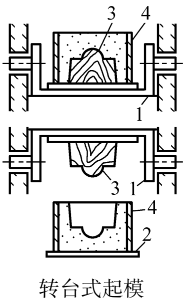
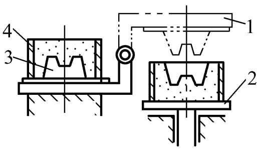


图5-15　手动叉形翻箱机
1—升降气缸　2—导杆　3—托叉

（2）起模方法　见表5-85。

表 5-85　造型机的起模方法

序号	起模方法		特　　点	简　　图
1	顶箱起模（即在不翻转砂箱的情况下，将模样从砂型中取出）	顶杆起模	在造型机四角设四根专用顶杆，砂型紧实后，四个顶杆穿过模板四角的孔，将砂箱垂直顶起，模板仍留在原工作台上。四个顶杆在同一顶杆架上安装，顶杆架由一个气缸带动	 1—顶杆　2—工作台　3—模板 4—砂箱　5—顶杆架　6—气缸
		托箱起模	与顶杆起模相似。不同点是砂箱被托住不动，而模样向下运动	
		漏模（起模斜度较小而高度又较大的模样，可采用一种漏板框托住砂型，仅使模样从漏板框中漏出。模样与漏板框四周间隙为 0.2 ~0.5mm）	顶框漏模：漏板框加在顶杆起模机构上	 1—顶杆　2—工作台　3—漏模框 4—砂箱　5—模样
			托箱漏模（简称漏模法）：漏板框加在托箱起模机构上	 1—工作台　2—漏模板　3—砂箱 4—模样
2	翻转起模（将砂箱连同模板翻转180°，用接箱台把砂箱接住，模板不动，当接箱台连同砂箱下降时，砂型与模样分离，达到起模目的）	转台式起模	 转台式起模 1—转台　2—接箱台 3—模样　4—砂箱	 翻台式起模 1—翻台　2—接箱台 3—模样　4—砂箱
		翻台式起模（由于砂型面朝上，所以对复杂的模样，可以避免掉砂和崩裂，一般用于大、中型的下箱起模）		

4. 造型机的选择

（1）造型工艺的分析是选择造型设备的基础　通过分析包括所生产的铸件材质、重量、尺寸大小、结构形状、表面质量和其他工艺要求，以及生产规模（批量）等因素，从而确定将要采用的造型工艺和流程，选择与之相适应的造型方式和设备、模板布置、砂箱尺寸，进而确定造型机的型号规格，并为制芯、砂处理、熔化、清理等工部的设计提供依据。

（2）选用造型机时应考虑的七因素

1）根据铸件精度、表面质量等要求，结合不同造型方式所能达到的砂型质量（刚度和表面硬度、紧实度和均匀性）选择设备。形状复杂、精度及表面质量要求高的铸件，应选用能造出砂型紧实度高、均匀、表面硬度高且刚性好的设备，同时造型机的造型精度要好，起模精度高。

2）根据不同铸件材质对砂型硬度和刚度的要求选择设备。由于球墨铸铁凝固过程的石墨化膨胀高于灰铸铁和白口铸铁，应选择能造出较高硬度和刚度砂型的设备；而铸钢和锡青铜与黄铜由于凝固时收缩大，则应选用造出的砂型硬度和刚度均适中的设备。一般而言，黑色金属铸件对型砂硬度和刚度的要求高于非铁合金。

3）根据铸件的使用条件选用设备。例如，轿车底盘上的保安铸件和起重设备类零件等，由于一旦损坏会造成人身、设备的重大安全事故，应采用能保证铸件内在质量的造型工艺和设备。

4）大批量、产量高的铸件生产，应选用生产率高的造型设备；品种单一时可采用专用造型设备；单件、小批量及多品种生产则选用生产组织灵活方便的造型设备。

5）工艺条件允许时应优先选用垂直分型无箱造型和水平分型脱箱造型设备。因为此类设备生产率高，辅助设备和工装少。

6）制造厂商提供的造型设备生产率并非设计所要求的工艺生产率，应根据具体情况考虑一个合适的系数。

7）根据投资规模选用设备。资金充足可选用价格较高、技术水平高的设备。

现代铸造将机械化、自动化和计算机等新技术应用于铸造生产。射压造型、高压造型、气冲造型和静压造型等现代铸造工艺的应用，使生产的砂型紧实度、刚度高，因而，铸件的表面质量好，尺寸精度高，加工余量少，同时，造型速度快，生产率高。

总之，选用造型设备应遵循：①设备服从工艺，设备必须满足工艺要求；②选用先进、适用、可靠的设备；③要考虑设备的工艺生产率（或实际生产率）与设备额定生产率存在的差异；④采用能耗低的设备；⑤要充分考虑环境保护、职业卫生和生产安全；⑥选用无需维修或维修性好的设备；⑦设备的生产能力留有适当的余地；⑧结合本厂操作人员的素质和技术水平选择设备；⑨设备选用先国内、后国外，选用国外设备时应注意国内外设备使用的差异等原则。

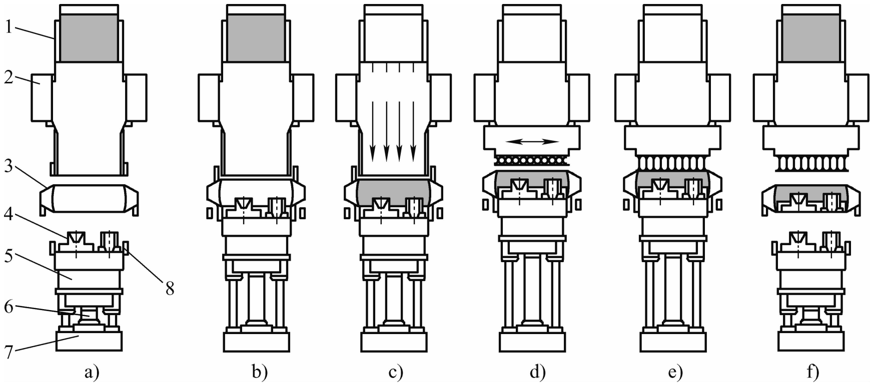
5.2.2　现代机器造型

1. 高压造型

高压造型是现代铸造工艺之一。高压造型机被广泛应用于汽车、拖拉机、缝纫机等行业的各种铸件、各种批量的生产，并且，配成自动化程度不同的流水生产线。大批大量生产的铸造车间，多采用高压造型。

（1）多触头高压造型机造型　多触头高压造型机的造型过程见表 5-86。

表 5-86　多触头高压造型机的造型过程



高压造型机造型过程示意图

a）复位　b）工作台上升　c）加砂　d）压实缸压实　e）多触头压实　f）起模

1—定量斗　2—横梁　3—砂箱　4—模样　5—工作台　6—举升压实缸　7—底座　8—辅助框

工序号	高压造型机造型过程
1	造型机原位：砂箱进入，定量斗有型砂
2	工作台上升，模板、辅助框和砂箱被举起，与加砂口接触，此时，辅助框处于模板与砂箱之间
3	打开百叶窗，重力加砂
4	多触头进入（此时，加砂溜槽离位），工作台上升加压，模板压入辅助框内至砂箱平齐
5	模板砂箱不动，多触头向下压实
6	工作台下降，起模

（2）高压造型专用砂箱　在高压造型线上，砂箱采用辊道输送，翻型采用机械手，合型采用合型机，砂箱所受的冲击力和磨损较大。因此，高压造型机（气动微震、射压、高压、气冲造型机）采用专用砂箱。

1）砂箱材料。砂箱材料一般选用球墨铸铁或铸钢。砂箱经消除应力后，加工而成。

2）砂箱结构特点

①箱壁断面呈 T 字形或箱形（双层壁）结构，具有高的强度和刚度，以承受高的压力和保持砂型尺寸精度。

②箱壁上设有一定宽度和精度要求的滑道、定位孔、限位块、合型销等，以便完成砂箱的造型、机械化运输、定位、翻箱、合型、浇注、落砂等功能。

③不设箱带，便于造型和捅箱落砂。

④箱壁内壁多做成一定规格的凹形，以保证在翻箱、运输中不脱落、不位移。

⑤具有高的定位精度。

高压造型线上，砂箱在各工位的定位方法有两种：定位碰头和工位定位套。砂箱在造型与合型时采用定位销和定位套定位。由于工作环境差，定位销（套）易磨损和变形，故定位销直径应比普通砂箱的定位销粗些。合型的紧固装置采用压铁，或摆动式箱卡。

高压造型砂箱的箱壁结构如图 5-16 所示。

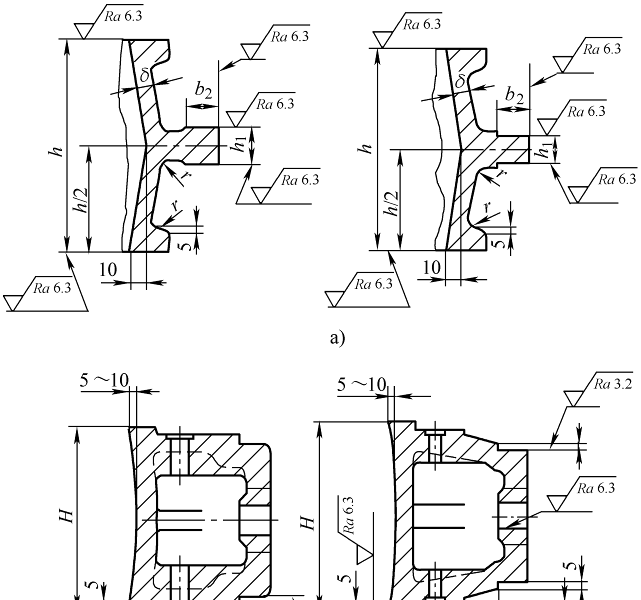


图 5-16　高压造型砂箱的箱壁结构

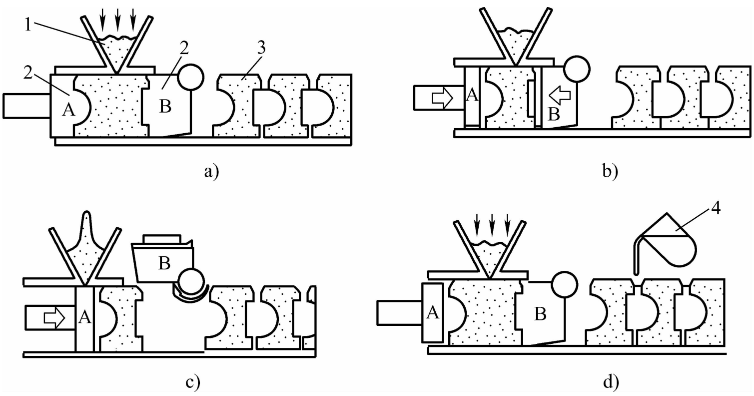
a）T 字形箱壁　b）箱形箱壁

2. 射压造型

射压造型是现代铸造工艺之一。射压造型的型砂紧实方法是先射砂、后压实而成型的方式。分两种：一是垂直分型无箱射压造型；二是水平分型脱箱射压造型。适于中、小件的成批大量生产。

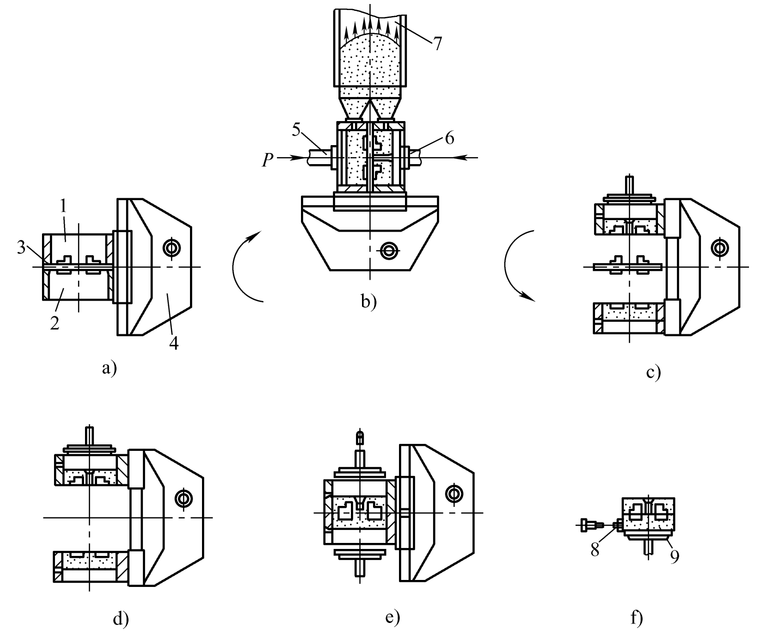
（1）垂直分型无箱射压造型　见表 5-87。

表 5-87　垂直分型无箱射压造型过程

设备	垂直分型无箱射压造型机 结构主要由机座、造型室、正压板和反压板、射砂机构、主液压缸、液压系统、气动系统和电气控制系统等组成。造型室主要部件有侧框架、上下框架、耐磨底板、耐磨顶板和耐磨侧板、导柱等。反压板上装有吹静模板的喷嘴，正反压板上装有加热器。电器控制采用 PLC 控制技术
造型过程简图	 a) b) c) d) 垂直分型无箱射压造型机造型过程 a）射砂　b）压实　c）推出砂型　d）浇注 1—定量砂斗　2—压板　3—砂型　4—浇包
表图号	垂直分型无箱射压造型过程
图 a	1）正、反压板合拢组成造型室，压缩空气将型砂射入造型室内
图 b	2）正、反压板依靠主液压缸向造型室中央挤压，形成紧实度很高的砂型
图 c	3）正、反压板夹持砂型，先同时向前移动，接着反压板（B）单独向前移动起模，起模后，再向上翻转 90°离开砂型
图 d	4）正压板（A）继续向前推送砂型直至与前方砂型接触，并使整个砂型串在带有砂型夹持器的输送带上，同步向前输送一个砂型厚度的节距 随着正压板的返回，在同步机构带动下，反压板又向下翻转到初始位置，一个造型循环结束
适用范围	适于汽车、拖拉机、轻纺机械、机床、管件等行业的中、小型铸件，特别是无芯或少芯铸件的成批大量生产

（2）水平分型脱箱射压造型　见表 5-88。

表 5-88　水平分型脱箱射压造型过程

<table>
<tr><td>设备</td><td colspan="2">水平分型脱箱射压造型机</td></tr>
<tr><td>造型过程简图</td><td colspan="2">

a）模板进入后合型　b）翻转提升/射砂压实　c）翻转下降/开箱脱模/模板退出　d）砂型检查/下芯　e）合型/脱箱　f）砂型推出
1—上砂箱和上预填框　2—下砂箱和下预填框　3—模板　4—砂箱固定及翻转机构　5—下压实杆　6—上压实杆　7—射砂筒　8—砂型捅出机构　9—接模机构</td></tr>
<tr><td>表图号</td><td>序号</td><td>造　型　过　程</td></tr>
<tr><td>图 a</td><td>1</td><td>模板 3 从换模板工位（也是模板加热工位）进入造型工位，固定在双导柱上的上型 1 和下型 2 开始合型，并将模板夹持住</td></tr>
<tr><td>图 b</td><td>2</td><td>翻转机构 4 旋转 90°至射砂筒 7 下方，下压实杆 5 和上压实杆 6 前进到砂箱内预填框部分（预填框与砂箱作成一体），射砂头下降，紧靠砂箱上的射砂口形成密封状态，此时，开始射砂并压实</td></tr>
<tr><td>图 c</td><td>3</td><td>压实结束后，射砂头上升离开砂箱，上下压板回退（浇口棒也随上压实板退出砂型），翻转机构翻转下降 90°，使砂箱回到水平位置进行开箱起模，接着模板退出</td></tr>
<tr><td>图 d</td><td>4</td><td>对砂型进行检查，并下芯</td></tr>
<tr><td>图 e</td><td>5</td><td>上下砂型合模后脱箱</td></tr>
<tr><td>图 f</td><td>6</td><td>砂型被从造型机推出进入浇注段浇注</td></tr>
<tr><td>应用范围</td><td colspan="2">水平分型，容易下芯，用途更广。广泛用于汽车、拖拉机、机械设备、轻纺工业等行业</td></tr>
</table>

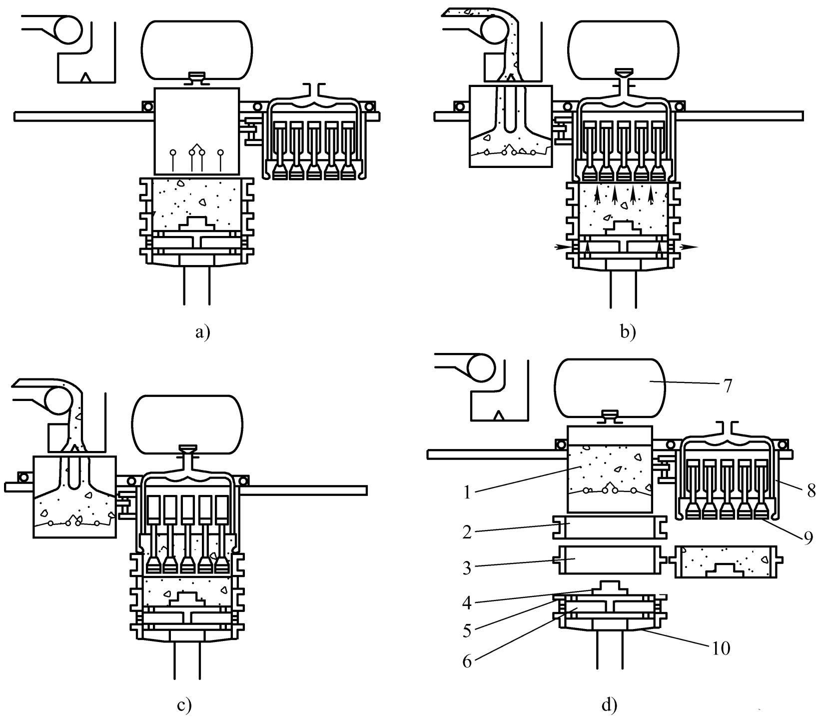
3. 静压造型

静压造型是现代铸造工艺之一。气流紧实造型分两种：即气冲造型和静压造型。其中，气冲造型具有对造型机本身破坏的致命缺点而限制了其发展。故本节仅介绍静压造型。

静压造型是“先气流预紧实、后压实”的工艺方法。由于造型过程气流预紧实时噪声低，故称为静压造型。

静压造型的工艺过程见表 5-89。

表 5-89　静压造型的工艺过程

<table>
<tr><td>设备</td><td colspan="2">静压造型机。主要由加砂机构、压头机构、压实机构、模板更换装置、机架、液压气控系统、电器控制系统等组成</td></tr>
<tr><td>静压造型工艺过程简图</td><td colspan="2">

a）加砂　b）气冲预紧实　c）压实　d）脱模/空箱进入
1—定量斗　2—辅助框　3—砂箱　4—模样　5—模板
6—模板框　7—储气罐　8—压头　9—触头　10—举升液压缸</td></tr>
<tr><td>表图号</td><td>工序</td><td>造　型　过　程</td></tr>
<tr><td>图 a</td><td>定量斗加砂</td><td>加满砂后，定量斗 1 移出至加砂皮带机头部装砂，与此同时与定量斗铰链接的压头 8 移入型腔上方</td></tr>
<tr><td>图 b</td><td>气冲预紧实</td><td>举升液压缸 10 使模板 5、砂箱 3、辅助框 2 和压头 8 紧贴形成一个密封系统，冲击阀打开，压缩空气产生的冲击波将型砂朝着模板方向进行预紧实，空气则通过模板 5 上的排气塞及模板框 6 排出</td></tr>
</table>

（续）

表图号	工序	造　型　过　程
图 c	压实	压头 8 从背面对型砂进行压实
图 d	脱模/空箱进入	举升液压缸 10 下降起模，同时压头 8 移出带动装有型砂的定量斗 1 进入砂箱 3 和辅助框 2 上方，等待下一次造型
应用范围		用于大量生产的、要求精度高的、薄壁、各种复杂铸件

4. 翻台震实造型机造型

翻台震实造型机适用于成批生产较复杂的砂型，如机床床身、柴油机体等，也常用于制造较大的复杂型芯。采用 Z2310 型翻台震实造型机，如图 5-17 所示。

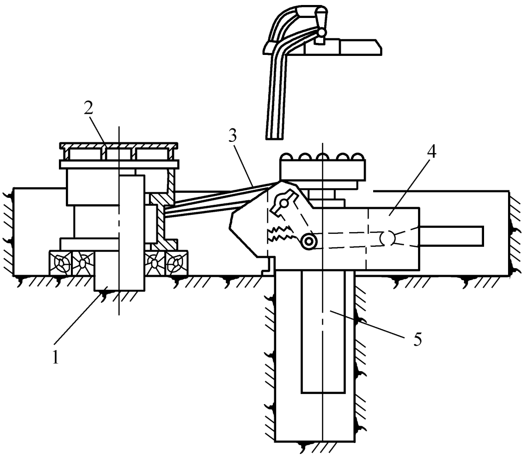


图 5-17　Z2310 型造型机

1—震击气缸　2—翻台　3—连杆　4—翻台气缸　5—起模液压缸

翻台震实造型机具有以下特点：①只能震击不能压实；②主要由震击机构、起模机构、翻转机构三个独立的部分组成；③在起模前，能先将砂型翻转，保证起模时砂型不损坏；④砂箱规格为 1000mm×800mm×300mm。

翻台震实造型机的造型过程如下：

（1）紧实　造型时，砂箱放在翻台上，翻台则放在震击工作台上，由双座司气阀控制震击气缸，带动翻台进行震击，将砂型紧实。砂箱顶部的松砂层可用铲子铲去余砂，也可用风动砂舂紧实。

（2）翻转　机器的右边有一个横的气压缸，用来推动翻台的连杆转轴，使主连杆转过 90°，将翻台举到起模工作台的上面。由于小连杆的作用，翻台在举升同时翻转 180°，使砂箱顶面向下。

（3）起模　起模液压缸将起模工作台升起顶住砂箱。在起模工作台上有砂箱校平机构，把砂箱平平地托住。然后，翻台板上的砂箱夹紧装置放开砂箱，起模工作台缓慢下落，完成起模工作。

5. 抛砂机造型

抛砂机适用于单件或成批生产的铸铁件粘土砂砂型（芯）。抛砂机有固定式抛砂机和移动式抛砂机。固定式抛砂机型号有：Z6312A、Z6312C、Z6312D 等；移动式抛砂机型号有：Z6625、Z6625A 等。

Z6312D 型抛砂机如图 5-18 所示。

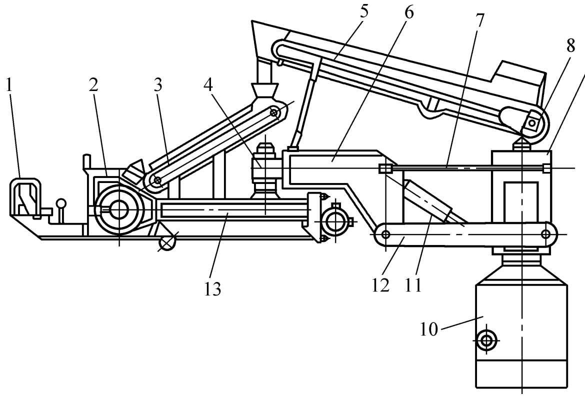


图 5-18　Z6312D 型抛砂机

1—座椅　2—抛头　3—小臂送砂带　4—小臂回转液压缸　5—大臂送砂带　6—平衡臂　7—空心拉杆　8—油冷电动滚筒　9—立柱　10—底座　11—升降液压缸　12—大臂　13—小臂

抛砂机造型具有以下特点：①适应性较强；②砂型紧实度均匀；③振动小，对地基要求低，噪声小；④抛砂机前面设有座椅，操作者可在座椅上完成全部操作过程。

抛砂机造型过程如下：造型时，型砂由机器上方的砂斗，经圆盘给料器或直接由带式输送机送入大臂的送砂带上，然后经小臂送砂带沿叶片转动的切线方向进入抛头，抛头把砂团以 30m/s 以上的高速抛出，使型砂在砂箱中得到紧实。为使抛头能在砂箱上方水平移动，将型砂填满整个砂箱，抛砂机的小臂和大臂分别可绕轴转动 300°及 270°，抛头借助升降液压缸而上下升降，可适应不同高度的砂箱。

5.2.3　造型生产线

造型生产线是用铸型输送机或辊道将造型机和相应的各种辅机组成的一个连续造型的铸型生产系统。造型机完成填砂、紧实和起模等主要工序，而各种辅机用以完成造型机工序以外的辅助工作。辅助工作的量和劳动强度是很大的。实现辅助工作的机械化、自动化，才能减轻劳动强度，提高生产效率。

1. 造型线的辅机

造型辅机有翻箱机、合型机、落箱机、压铁机、捅箱机、分箱机、铸型输送机、扎气孔器、刮砂机、清扫机等。造型辅机的种类及作用见表 5-90。

表 5-90　造型辅机的种类及作用

序号	造型辅机	作　用	技 术 要 求
1	翻箱机	将造好型的上、下砂箱进行翻转，以便下芯和检验	要求在翻箱过程中，砂箱要限位和夹紧，起动和落位时要平稳、无冲击，以保证不损坏砂型
2	合型机	合型机是将造好的砂型和下好砂芯的上、下型合箱，以便进行浇注。合型机分静态和动态两种 1）静态合型机，它在合型过程中，下型不动，上型下降进行合型。合型准确，机构简单。适于在辊道上合型，也可在脉冲式铸型输送机上合型 2）动态合型机，设有同步机构。它在合型过程中，上、下型在水平方向同步连续运动，适于在连续式铸型输送机上合型	要求动作平稳、准确，完成合型动作的升降缸，一般采用气压传动或液压传动。若是气动，则必须在气缸结构上或控制系统中采用缓冲装置
3	落箱机	将合型后的砂箱，或造好型经翻转后的下型放置在铸型输送机上。落箱机分上抓式和下托式两种	只有当铸型输送机小车台面空载时，才允许落箱气缸动作并进行落箱
4	压铁机	为克服液体金属的抬型力，在合好的铸型上放置压铁，以防浇注时抬箱、炮火	压铁机可使取、放压铁实现机械化、自动化，以减轻劳动强度
5	捅箱机	将砂型连同铸件一起从砂箱中捅出，然后送到落砂机上进行落砂，空砂箱直接送到分箱机旁分箱	采用无箱带的砂箱。捅头上装有硬尼龙丝或钢丝刷，同时清理砂箱内壁
6	分箱机	是把从落箱机或捅箱机处运来的空砂箱分开，分别送到上、下箱辊道上，以待回用	自重分箱机适用于中小型砂箱的分箱
7	铸型输送机	在造型生产线上用以联系造型、下芯、合型、取放压铁、浇注、落砂清理等工序的主要输送设备 铸型输送机与微机技术应用，可实现机械化、半机械化或自动化。提高生产效率，降低劳动强度，改善劳动条件	铸型输送机的选用主要根据生产批量和生产的组织方式。对于平行工作制、大量或成批生产的情况，可采用连续式或脉冲式；对于平行工作制、批量较大、品种较多的大铸件或连续造型、间歇浇注的中小铸件，宜采用间歇式

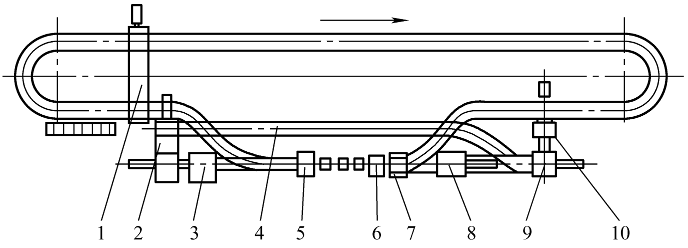
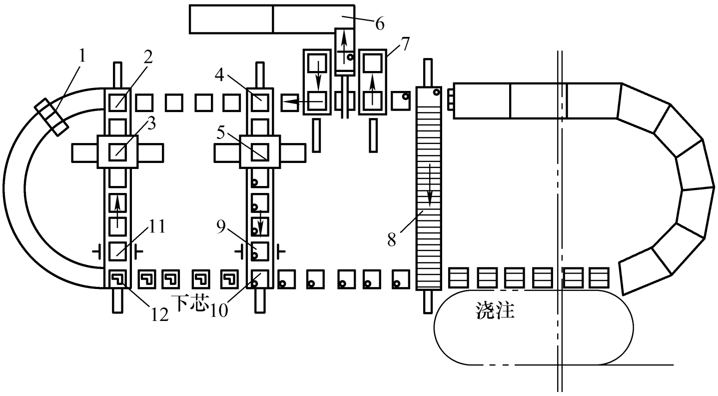
2. 造型生产线的布置形式

造型生产线按造型机的布置形式分为两类：串联式和并联式，见表 5-91。

3. 高压造型生产线

高压造型生产线是由高压造型机及其辅机组成造型线，电脑控制，实现程序化操作，自动化程度高。适用于大量生产的铸件。但设备复杂，投资大。

表 5-91　造型生产线的布置形式

形式	造 型 生 产 线 图 示	特　点
串联式	 串联式造型生产线 1—压铁机　2—转箱机　3—上型造型机　4—回箱辊道　5—合型机 6、10—落砂机　7—翻箱机　8—下型造型机　9—分箱机	造型机一对或两对，沿连续式铸型输送机布置，造好的砂型从造型机到合型机之间的运行方向与铸型输送机平行或基本平行。可在铸型输送机上动态合型，也可在辊道上静态合型
并联式	 并联式造型生产线 1—小车清扫机　2—下型提升机　3—下型造型机　4—上型提升机 5—上型造型机　6—震动落砂机　7—捅箱机　8—压铁机 9—翻箱机　10—合型机　11—翻箱机　12—落箱机	造型机垂直于铸型输送机布置，造好的砂型从造型机到合型机之间的运行方向和铸型输送机垂直或成一定的角度。铸型输送机可采用脉冲式或连续式。如采用脉冲式则辅助工作可在静态下完成。空砂箱可利用铸型输送机送回造型机处，也可专设回箱轨

生产效率：两台三工位多触头高压微震造型机，砂箱尺寸（mm）：1100 × 750 × 400/300，生产率达 240 箱/h。

造型机型号：TX、X-Z1404 等。

4. 抛砂造型生产线

抛砂造型生产线是以抛砂机为主机，配以刮砂机、起模机、运输设备等组成造型线。其中，起模机是造型线的关键配套设备，常采用的起模机有两种：顶杆起模机（即砂箱不转动）和翻转起模机。翻转起模机有两种，滚筒式起模机比转台式起模机在重量和外形尺寸方面更为理想。起模机型号有 Z7120C 等。

5.2.4　机器制芯

只有当批量生产时，才考虑用机器制芯。机器制芯的生产率高，紧实度均匀，砂

芯质量好。但是，安放芯骨、取出活块、或有时开通气道等工序，还得手工进行。机器制芯分两大类：普通机器制芯和射芯机制芯。

1. 普通机器制芯

（1）微震压实式制芯　微震压实式制芯是在微震的同时加压紧实芯砂。其生产率较高，但机器结构复杂，仍有噪声。微震压实式制芯适用于制造粘土砂芯、合脂砂芯、桐油砂芯等。

（2）挤压式紧实制芯　挤压式紧实制芯是利用机械传动，将芯砂从成形管连续压出而制成砂芯。一般用活塞挤压，或螺旋推进挤压等。螺旋挤压式是根据模孔大小，调节螺旋推砂器的速度来控制砂芯的紧实度，其生产率一般为 150 ~ 300m/h。砂芯的长度根据需要切割成段，烘干，修出芯头即可。

挤压式紧实制芯适用于大量生产的截面形状和尺寸不变的小砂芯。

（3）震实式及翻台震实式制芯　震实式及翻台震实式制芯是靠机械或气动震击达到紧实芯砂的。紧实后的砂芯，通过机械连杆机构将芯盒翻转 180°到取芯工位取芯。这是当前应用较普遍的机器制芯。缺点是噪声大，生产率低，对厂房基础要求高。震实式及翻台震实式制芯机适用于制造成批、大量生产的不填焦炭块的中、大砂芯。

震击翻台式制芯机如图 5-19 所示。

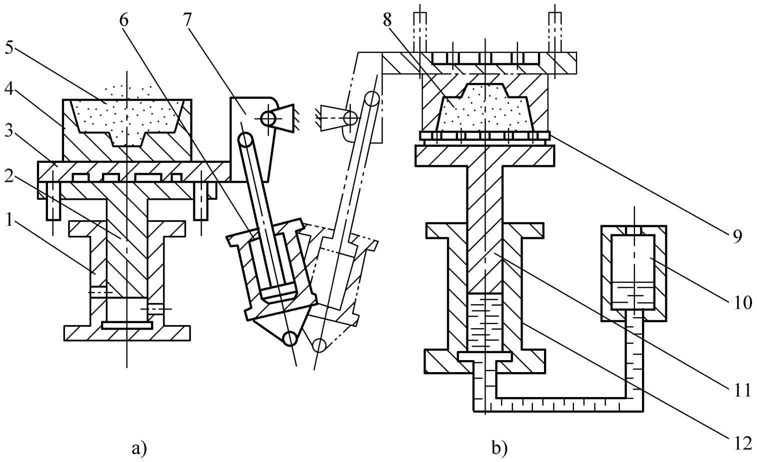


图 5-19　震击翻台制芯机制芯

a）加砂震击紧实　b）接箱取芯

1—震击缸　2—震击活塞　3—翻转工作台　4—芯盒　5、8—砂芯　6—翻台缸
7—连杆　9—烘芯板　10—油箱　11—接箱活塞　12—取芯缸

Z23 系列震击制芯机的型号、适用芯盒尺寸及生产率见表 5-92。

2. 射芯式制芯

射芯式制芯是一种高效率机械化制芯方式。它是以压缩空气为动力，将混好的芯砂，以一定的压力高速射入芯盒内，通过化学或物理作用，使芯砂快速在芯盒内固

化，硬化后取出，得到表面光洁、尺寸精确、强度高的砂芯。其特点是操作方便、生产率高，易于机械化。射芯式制芯适用于成批、大量生产的中、小型简单或复杂砂芯。

表 5-92　Z23 系列震击制芯机的型号、适用芯盒尺寸及生产率

型号	Z236	Z238A	Z2310	Z2316A
芯盒尺寸 (长×宽×高)/mm	600×500×300	800×600×350	1000×800×600	1600×1000×500
生产率/(盒/h)	40	40	30	25

射芯式制芯主要有普通射砂制芯、热芯盒制芯、冷芯盒制芯、覆膜砂制芯。

（1）普通射芯机制芯

1）普通射芯机的型号：主要有 Z8512 型、Z8525 型。这类射砂机只完成对芯砂的射砂紧实。

2）普通射砂机的应用范围

①油类粘结剂（植物油、合脂）芯砂的制芯，取芯后，再由烘芯炉烘干硬化。

②水玻璃芯砂的射砂紧实，用 CO_2 吹气罩硬化。

3）普通射芯机的制芯工艺要点

①芯砂性能要求：应控制原砂的含泥量，芯砂配方中要少用粘土附加物，对合脂粘结剂应进行良好的稀释处理。芯砂应具有良好的流动性，控制其湿强度小于 15kPa。

②射砂压力：高而稳定的射砂压力是保证射芯质量的首要因素，控制工作压力稳定在 0.6～0.65MPa。

③射砂孔截面积：选择射砂孔截面积时，应根据芯砂流动性、芯盒结构、型腔形状、砂芯重量等综合考虑。

④射砂孔数量及布置：根据射砂单位面积的进砂量、单个射砂孔的射砂范围确定。油砂的进砂量为 0.2～0.3kg/cm² 时，单个射砂孔的射砂范围为 80～100mm 之间，最大不超过 150mm。

⑤芯盒的排气：芯盒的排气方式有上排气、底面排气两种，如图 5-20 所示。

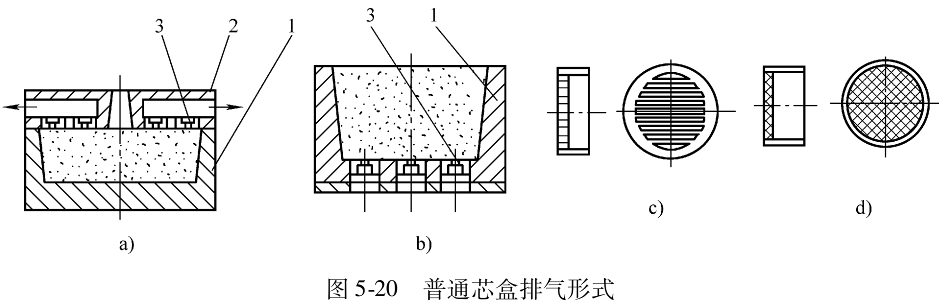


图 5-20　普通芯盒排气形式

a）紧砂面上排气　b）芯盒底面排气　c）槽形排气塞　d）网状排气塞

1—芯盒　2—通气射砂板　3—排气塞

通过设置不同形式的排气塞将砂流中的气体排掉。排气塞有槽形排气塞和网状排气塞。槽形排气塞容易制作，应用最广；网状排气塞排气效果好，但制作较困难。

⑥射砂头：普通射砂的射砂头内安装导砂块，将芯砂向射砂孔引导，并使引导的芯砂在分流中松散，有利于提高射砂质量。普通射砂制芯的射砂头如图 5-21 所示。

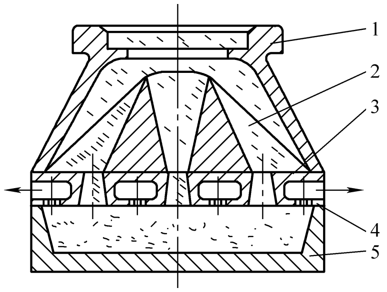


图 5-21　射砂头

1—射砂头　2—导砂块　3—射砂板
4—排气塞　5—芯盒

⑦设置通气道、安放芯骨：普通射芯的通气针和芯骨的安放方式如图 5-22 所示。

射芯前，先将通气针和芯骨放好，在其周围用人工填好芯砂并塞紧，然后射砂紧实，拔出通气针。

（2）热芯盒制芯　热芯盒法制芯是用液态热固性树脂粘结剂和催化剂配成的芯砂，射入加热到 200 ~ 250℃ 的芯盒内，待砂芯硬化后取出，得到表面光洁、尺寸精确、强度高的砂芯。热芯盒法制芯的优点：生产率高，易于清理，不需要另设砂芯烘干设备，易于实现制芯的机械化。缺点是制芯时，会产生刺鼻气味。该工艺特别适用于几何形状复杂，成批大量生产的制芯车间。

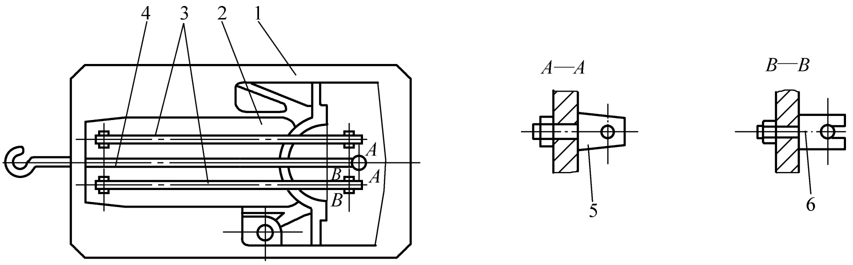


图 5-22　普通射芯的通气针和芯骨的安放方式

1—芯盒　2—芯盒型腔　3—圆钢芯骨　4—通气针　5—通气针座脚　6—芯骨座脚

1）热芯盒在射芯机上的安装

①垂直分盒热芯盒与 Z8612B 热芯盒射芯机的安装。热芯盒通过支撑装置放置在射芯机工作台上，与加热板连接由定位键定位，用内六角螺钉紧固。加热板是与射芯机夹紧器安装板相连接的，其连接方式有螺钉连接、紧固卡连接和压板卡连接。

螺钉连接和紧固卡连接方式结构简单，对紧固螺钉孔位置精度要求不高，芯盒与加热板安装较方便。

压板连接方式的结构比较复杂，但其隔热性能好，可有效地防止加热板的热量向射芯机夹紧器传导。垂直分盒热芯盒与 Z8612B 热芯盒射芯机的安装如图 5-23 所示。

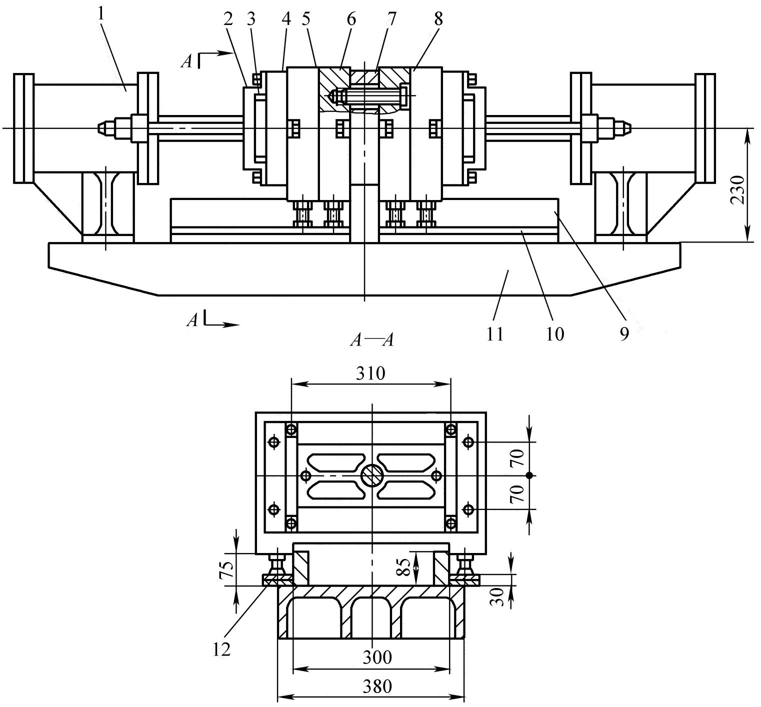


图 5-23　垂直分盒热芯盒与 Z8612B 热芯盒射芯机的安装
1—加紧气缸　2—压板　3—安装板　4—动芯盒加热板　5—动芯盒
6—定芯盒　7—顶芯盒加热板　8—内六角螺钉　9—导轨　10—可换
滑板　11—工作台　12—可调支撑螺钉

②水平分盒热芯盒与二工位热芯盒射芯机的安装。水平分盒热芯盒依靠底框与射芯机移动小车工作台连接。芯盒与底框、底框与射芯机移动工作台用定位键定位。其芯盒安装见图 5-24。

③水平分盒热芯盒与四工位热芯盒射芯机的安装。水平分盒热芯盒放置在四工位热芯盒射芯机回转机构的升降工作台上。下芯盒安装在加热板上，加热板直接与射芯机的升降工作台相连接，上芯盒与开盒装置固定板连接，水平分盒热芯盒与热芯盒射芯机的安装见图 5-25。

2）热芯盒射砂机。热芯盒射砂机是热芯盒制芯的主要设备，有单工位、双工位、多工位等形式。

单工位热芯盒射芯机型号有：Z861 型、ZZ863 型、ZZ866 型、Z8612B 型、ZZ8612 型、ZZ8612A 型、ZZ8625 型等。双工位热芯盒射芯机型号有：2ZZ8612 型、2ZZ8625 型、2ZZ8640 型、2ZZ8663 型等。四工位热芯盒射芯机型号有：4ZZ8612 型等。

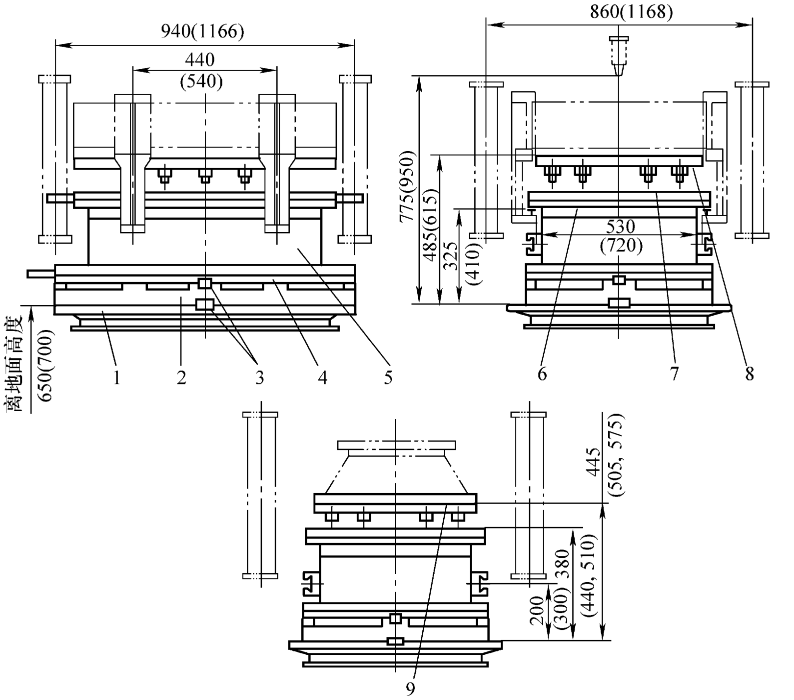


图 5-24　水平分盒热芯盒与二工位热芯盒射芯机的安装
1—移动工作台　2—底框　3—定位键　4—下加热板　5—下芯盒　6—上芯盒
7—上加热板　8—上顶芯板　9—射砂板
（图中：括号内数据系 2ZZ8640 热芯盒射芯机，无括号数据为 2ZZ8625 热芯盒射芯机）

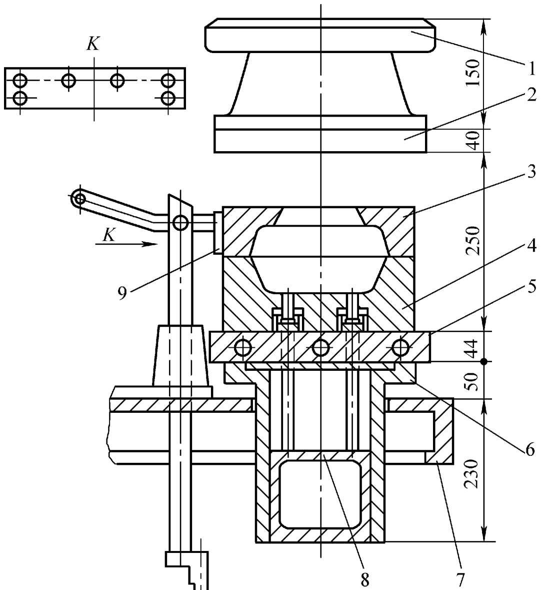


图 5-25　水平分盒热芯盒与四工位热芯盒射芯机的安装
1—射砂头　2—水冷射板　3—上芯盒　4—下芯盒　5—电加热板　6—工作台
7—转盒　8—升降工作台　9—开盒装置上芯盒固定板

热芯盒射砂机的品种虽很多，但其在制芯过程中所要完成的主要机械动作却简单而明确，即射砂紧实和顶出取芯。用户可根据砂芯（或壳型）的大小、分型方式、设备生产率、自动化程度的不同要求，合理选择机型。

图5-26所示为Z8612B型单工位热芯盒射芯机，是应用最广的一种。其技术规格为：砂芯最大重量为12kg，芯盒最大尺寸为400mm×450mm×350mm，工作气压为0.45MPa，生产率为40盒/h。

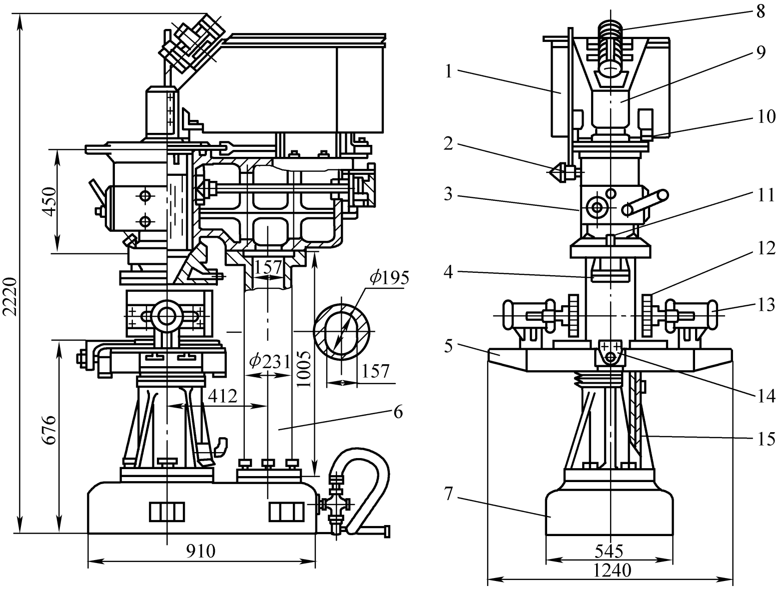


图5-26　Z8612B型射芯机

1—砂斗　2—排气阀　3—射砂机构　4—水冷射头　5—工作台　6—立柱
7—底座　8—振动电动机　9—有机玻璃罩　10—橡皮减振柱　11—射头装卸螺钉
12—加热板　13—夹紧缸　14—气动托板　15—升降缸

3）热芯盒制芯操作。一般采用热芯盒砂，或覆膜砂射制各种复杂的砂芯及壳型。

热芯盒砂是用热固性树脂粘结剂和催化剂配成的芯砂，制芯时会产生刺鼻气味。因此，越来越多地采用热塑性固态树脂为粘结剂的覆膜砂射砂制芯。随着冷芯盒制芯的日益广泛应用，热芯盒当前应用呈明显下降趋势。

热芯盒的形式有垂直分型热芯盒、水平分型热芯盒、垂直-水平组合分型等形式。

①热芯盒的制芯工艺参数见表5-93。

②操作要点。操作者应按设备润滑及安全操作规程进行保养和操作。经常用热芯盒清洗剂或酒精擦洗芯盒，保持芯盒内腔清洁。用热芯盒湿态砂制芯时，在每班工作结束后，拆卸射头，并将储砂筒、射砂头用柴油清洗干净。

表 5-93　热芯盒的制芯工艺参数

工艺参数	湿态砂		热芯盒干态砂
	糠醇改性脲醛树脂砂	糠醇改性酚醛树脂砂	
射砂孔截面积/mm^2	12～16	12～16	8～12
射砂压力/MPa	0.55～0.60	0.55～0.60	0.3～0.4
硬化温度/℃	210±10	260～280	260～280

3. 覆膜砂制芯

覆膜砂制芯（又称壳法制芯）是将热塑性固态酚醛树脂为粘结剂、乌洛托品为固化剂的芯砂，吹入加热的芯盒（230～290℃）中保持一定的结壳时间，待形成薄壳后（5～20mm），经摇摆把多余的芯砂倾倒储砂斗中，而形成中空的薄壳砂芯。所用的芯砂叫做覆膜砂，因此，把这种制芯方法称为覆膜砂制芯。覆膜砂像干砂一样松散，其流动性好，可以用来制作各种复杂砂芯，同时覆膜砂便于运输和存放。

（1）壳芯机　覆膜砂制芯用设备是壳芯机。壳芯机分为顶吹式和底吹式两种。顶吹式适合于较复杂的砂芯；底吹式适用于生产简单的小砂芯。

顶吹式壳芯机的旧型号是 K8 系列（K85、K87、K89 型），需人工取芯。新型号为 Z95 系列，有自动取芯装置。Z95 系列壳芯机的主要技术参数见表 5-94。

表 5-94　Z95 系列壳芯机的主要技术参数

型号	Z955A	Z955C	Z956A	Z957A	Z958A
芯盒最大尺寸/mm	500×500	500×500	660×400	700×700	800×600
芯盒最大厚度/mm	150+150	200	220（110/110）	180+180	180+180
最大吹砂量/kg	12	12	15	25	25
机动周期时间/s	35	—	33	40	40
电热功率/kW	15	18	22	24	36
加热形式	电或煤气	电	液化气、电或煤气		

（2）壳芯盒　壳芯盒制芯是借助于壳芯机将树脂覆膜砂吹入加热到一定温度的芯盒中，经过结壳、倒出未结壳余砂，经硬化后获得中空、薄壳砂芯（即壳芯）。壳芯盒制芯的工装有壳芯盒、吹砂板、加热装置等。

壳芯盒由芯盒本体、定位装置、排气装置、顶出机构等部分组成。壳芯盒的典型结构如图 5-27 和图 5-28 所示。

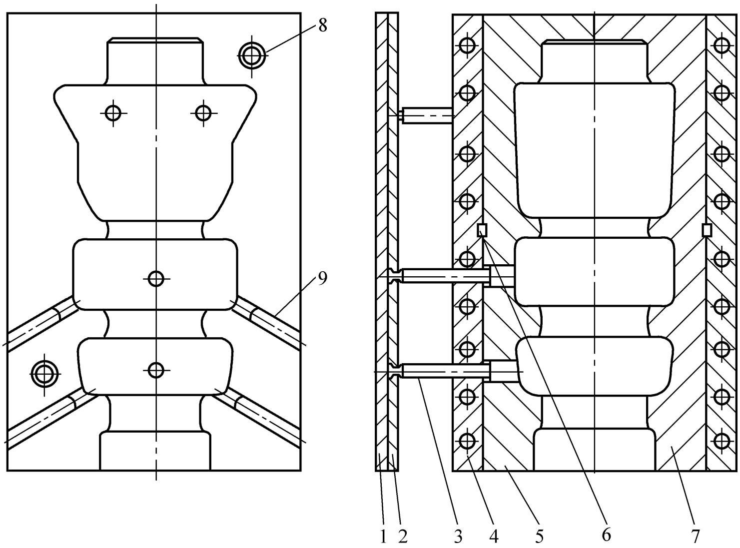


图 5-27　电加热壳芯盒的典型结构

1—顶出板　2—固定板　3—顶芯杆　4—电加热板　5—定芯盒　6—定位键
7—动芯盒　8—定位销套　9—排气槽

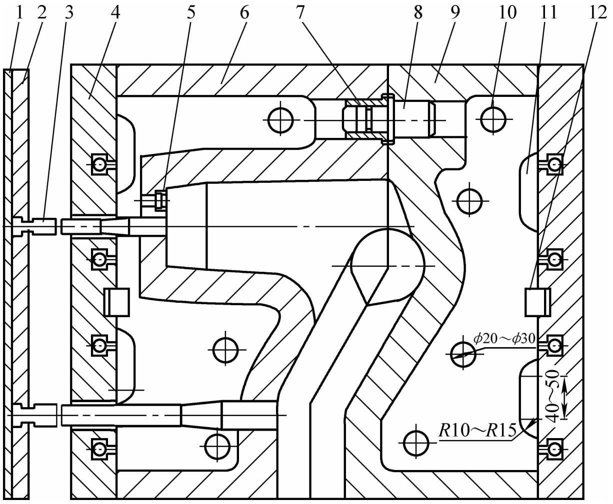
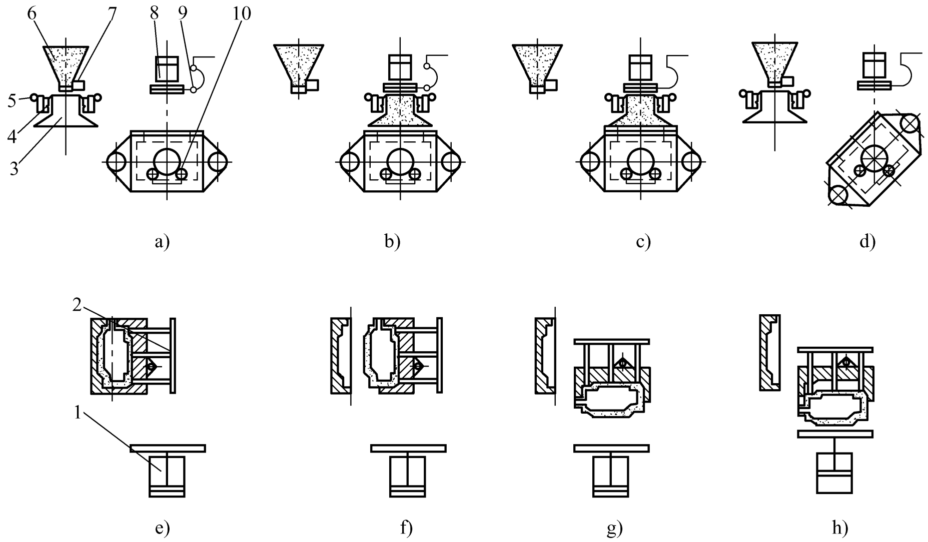


图 5-28　可燃气体加热壳芯盒的结构

1—顶出板　2—固定板　3—顶芯杆　4—加热板　5—排气塞　6—定芯盒　7—定位销套
8—定位销　9—动芯盒　10—跑火孔　11—空气进口　12—定位键

（3）覆膜砂制芯过程　Z95 系列壳芯机的制芯过程见表 5-95。

表 5-95　Z95 系列壳芯机的制芯过程



Z95 系列壳芯机制芯简图

a）射筒加砂　b）合模、射筒移至射砂工位　c）射筒降并压紧在芯盒上、射砂排气
d）射筒升起、移出，芯盒内芯砂结壳，芯盒翻转摇摆　e）砂芯硬化　f）芯盒打开
g）芯盒倾转、移芯小车进　h）顶芯
1—接芯缸　2—顶芯机构　3—移动射头　4—弹簧　5—移动小车　6—砂斗
7—加砂气缸　8—射砂缸　9—压缩空气　10—翻转机构

表图号	制　芯　工　艺　过　程
图 a	工作开始时，射筒（包括水冷射头）在储砂斗下方已加好砂，芯盒位于射砂气缸下面已预加热完毕
图 b	循环开始，动芯盒在开合液压缸驱动下合模，射筒在小车移动气缸作用下由移动小车移进射砂工位，位于射砂缸下方和芯盒上方
图 c	合模压力足够大后，射砂气缸下降，将射筒和水冷射头压紧贴在芯盒上，射砂阀打开射砂
图 d	射砂结束后，排气阀打开，将芯盒和射筒内的余气排净，射砂缸上升，射筒在弹簧力作用下升起，然后移回加砂斗下，芯盒内芯砂开始结壳。芯砂结壳达一定厚度后，在驱动装置作用下芯盒正转 180°，使射嘴朝下倒出余砂，然后反转 180°回原位
图 e	芯盒内的壳芯进入硬化阶段
图 f	硬化结束后，动芯盒被平移打开一定距离
图 g	然后向下倾转 90°，移芯小车进
图 h	移芯小车进到位后，接芯缸升起，顶芯机构将制好的砂芯顶出落入接芯小车台面上。接着接芯缸降，移芯缸将砂芯移出 最后，设备回原位，准备下一工作循环的开始

（4）应用范围　覆膜砂不仅可以用来制芯，而且也可用来制作壳型。因其成型性好，砂芯表面致密，砂芯的强度高，也被广泛用于制作复杂薄壁的热芯（例如气缸盖铸件的水套砂芯和气道砂芯）。覆膜砂制芯在成批、大量生产中、小型的简单或复杂的砂芯时都可采用。

4. 冷芯盒制芯

冷芯盒制芯是常温制芯工艺。它是借助于射芯机，将树脂砂射入芯盒中，在气体硬化剂的作用下，迅速硬化成型的一种制芯方法。冷芯盒制芯的生产率高、尺寸精度高、节能、环保，适用于成批、大量生产中小型简单，或复杂的砂芯（例如气缸体的水套砂芯）。

（1）冷芯盒射芯机　一套完整的冷芯盒制芯系统如图 5-29 所示。

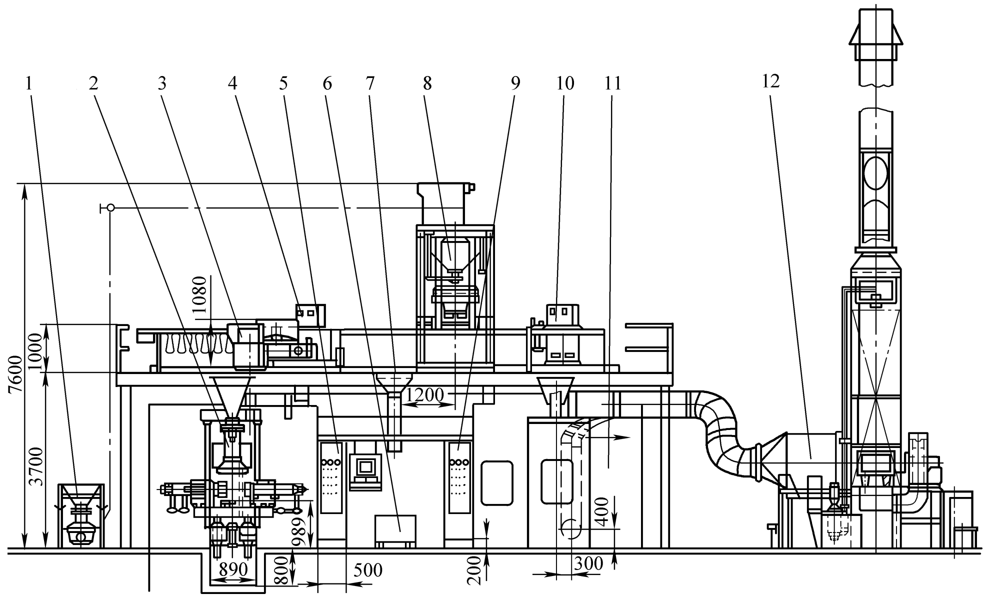


图 5-29　冷芯盒制芯系统组成

1—芯砂气力输送系统　2、11—冷芯盒射芯机　3—芯砂配送系统　4、10—气体发生器　5、9—电气控制系统　6—废砂斗　7—废砂溜槽　8—混砂系统　12—尾气净化系统

Z84 系列全自动冷芯盒射芯机的主要技术规格见表 5-96。

表 5-96　Z84 系列全自动冷芯盒射芯机的主要技术规格

<table>
<tr><th colspan="2">型号</th><th>Z843</th><th>Z843A</th><th>Z8425</th><th>Z8425B</th><th>Z8440</th><th>Z8440A</th><th>SZ15</th></tr>
<tr><td colspan="2">最大制芯重量/kg</td><td>3</td><td>3</td><td>25</td><td>25</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr>
<tr><td rowspan="2">最大芯盒尺寸/mm</td><td>水平分型</td><td rowspan="2">射砂面积 152 ×203</td><td rowspan="2">350 ×170 ×150</td><td>700 ×580 ×500</td><td rowspan="2">750 ×600 ×400</td><td>780 ×900 ×600</td><td>1000 ×700 ×600</td><td rowspan="2">1000 ×700 ×520（水平）</td></tr>
<tr><td>垂直分型</td><td>700 ×690 ×320</td><td>780 ×560 ×900</td><td>1000 ×500 ×900</td></tr>
</table>

（续）

型号	Z843	Z843A	Z8425	Z8425B	Z8440	Z8440A	SZ15
每循环机动时间/s	—	—	35	30	40	—	250s/盒
电器安装功率/kW	—	2.3	3	13	3	30	—
分盒方式	垂直分盒					水平分盒	
外形尺寸/mm	821×1150×1842	—	2600×2550×3100	—	310×2950×3350	3620×3970×4600	8140×3714×2757
重量/t	0.65	—	4.1	—	6.3	15.0	15.5

（2）冷芯盒　冷芯盒制芯使用的工装，主要有冷芯盒、射砂头、吹气板装置等。

1）冷芯盒材料。小批生产时宜选用铝合金、环氧树脂、氨基甲酸酯和木材等；成批大量生产时宜选用灰铸铁。

2）冷芯盒组成。冷芯盒结构形式有：垂直开盒、水平开盒和多向开盒等形式。冷芯盒由芯盒本体、密封装置、定位装置、排气装置、顶出机构等部分组成。冷芯盒的典型结构见图5-30。

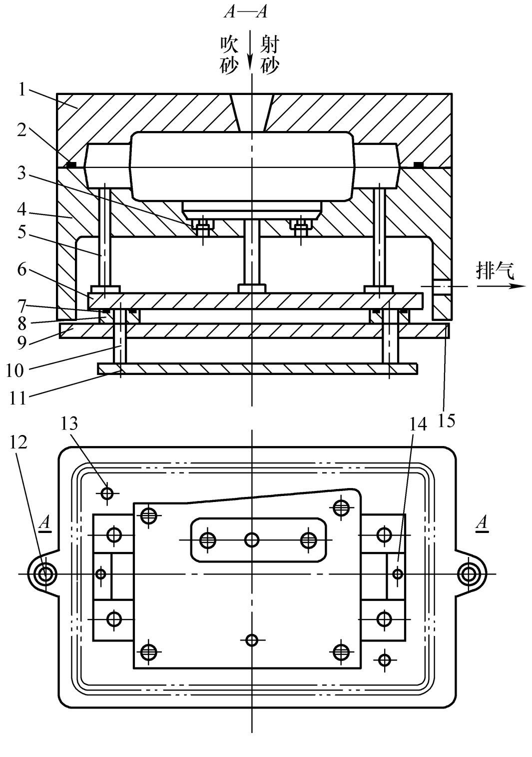


图5-30　冷芯盒的典型结构

1—上芯盒　2—密封圈　3—排气塞　4—下芯盒　5—顶芯杆　6—顶芯板
7—O形密封圈　8—支撑柱　9—排气腔盖板　10—顶出杆　11—顶出板
12—定位销（套）　13—回位顶杆　14—排气槽及排气孔　15—密封胶或密封垫片

3）冷芯盒在射芯机上的安装方式。芯盒的安装结构，应根据所选用的射芯机型号、规格尺寸进行设计。

①垂直分盒冷芯盒在射芯机上的安装见图 5-31。

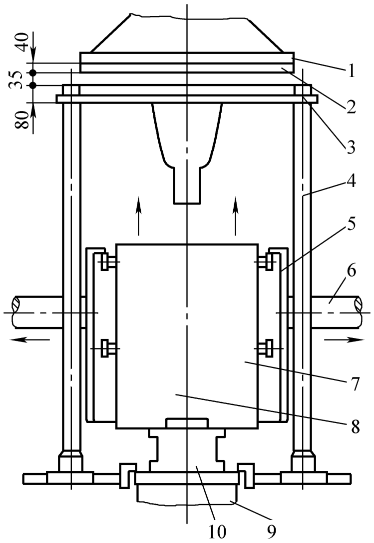


图 5-31　垂直分盒冷芯盒在射芯机上的安装简图

1—射砂头　2—射砂板　3—上芯盒　4—立柱　5—芯盒固定板　6—垂直夹紧装置　7—右芯盒　8—左芯盒　9—移动工作台　10—下芯盒

②平分盒冷芯盒在射芯机上的安装见图 5-32。

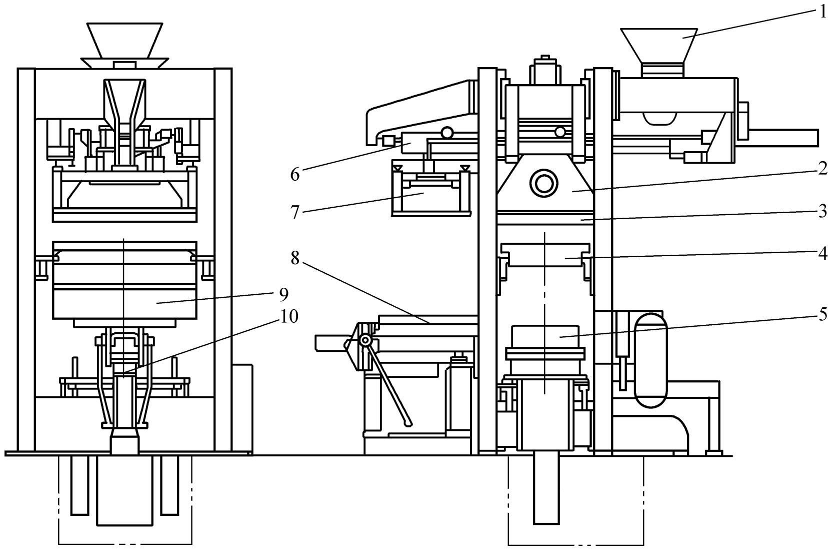


图 5-32　水平分盒冷芯盒在射芯机上的安装简图

1—砂斗　2—射砂头　3—射砂板　4—上芯盒　5—下芯盒　6—移动小车　7—吹气装置　8—取芯机构　9—底框　10—顶出机构

（3）冷芯盒制芯工艺流程　将原砂与冷芯盒树脂混合后射入芯盒，然后吹入气体固化剂，砂芯即在常温下快速固化，最后吹入干燥清洁的压缩空气，冲洗、净化砂芯中的残余固化剂后即可出芯，如图5-33所示。

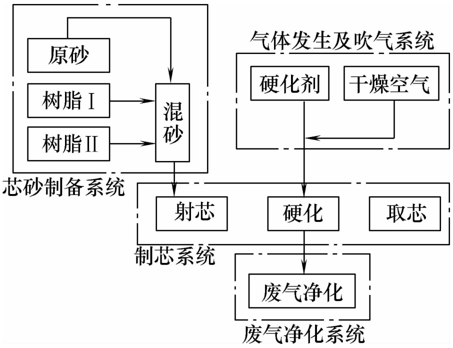


图5-33　气体硬化冷芯盒制芯工艺流程图

（4）冷芯盒制芯工艺种类　目前常用的冷芯盒制芯工艺，按固化剂的不同可分四种，见表5-97。

表5-97　冷芯盒制芯工艺的种类

序号	冷芯盒工艺种类	固化剂	冷芯盒制芯工艺	环　　保
1	三乙胺法	三乙胺	1）芯盒表面喷涂冷芯盒专用脱模剂，以表面见湿为宜。不能采用乳液脱模剂 2）射砂压力为0.3～0.55MPa 3）射砂时间为3～5s 4）吹三乙胺时间与吹三乙胺量，根据砂芯形状与大小确定。一般低压吹三乙胺4～10s，高压吹三乙胺5～15s 5）吹压缩空气净化时间10～20s	有人会对粘结剂过敏，不要与之直接接触，以免患皮炎病，加强环境保护
2	SO_2法	二氧化硫	大量流水生产时，使用具有吹气硬化系统的专用制芯设备，将芯砂射入芯盒，吹入SO_2气体，吹入时间根据砂芯大小和复杂程度而定，在1s左右。然后，用干燥微热的洁净空气吹净残留的SO_2气体（约10s），生产节奏很快	SO_2有臭味，对人体有害，不能直接接触皮肤，不能进入口、鼻、眼中。因此，整个系统要严加密封，不能泄露
3	酯硬化法	甲基甲酸	在常温下制芯。对芯盒材料要求不高，对输送管路密封性要求不严，不需尾气处理设备，工装设备简单	对环境基本不污染
4	CO_2硬化法	二氧化碳	碱性酚醛树脂硬化工艺——在促硬剂存在下，通过吹CO_2使碱性酚醛树脂硬化。CO_2流量为0.8～1.0m^3/h，吹气时间为30～60s	突出优点是对人体和环境的危害低于其他冷芯盒制芯工艺

5.2.5　设备维护保养及安全操作技术

1. 造型机的维护与保养

（1）定期对机器全面检查　对整个造型生产线要定期全面检查，检查期一般不超过3个月。检查的主要内容：

1）检查气路和油路管道以及开关、阀门的腐蚀和锈蚀状况。在压力系统的检查过程中不得随意紧固管路、气缸、容器、阀门上的螺钉、螺母和各种接头，对压力系统的泄漏现象，如果是腐蚀或锈蚀所致，要在机器停止工作后由维修人员进行更换；如果压力系统属于松动泄露，要在机器停止工作消除压力后再紧固松动部位。

2）检查压力系统的压力表、安全阀、减压阀等工作是否正常。观察压力表所示压力稳定状况，要求介质压力始终保持在规定范围内，要求压缩空气无水分，液压介质的油液质量合格。要求当气（液）源中断时，不致引起设备失控，或存在泄漏现象。

3）检查主机、辅机、运输设备的润滑和磨损情况。清洗各摩擦面和润滑油路系统，对于磨损严重的零部件，应提出更换要求，以便维修人员及时更换。严格按照机器使用说明书规定的时间和部位，采用规定的牌号的润滑油（脂）进行正确润滑，加入的润滑油必须过滤，润滑脂必须干净无杂质。对于机器各处的轴承也要定期清洗，更换新的润滑油（脂）。

（2）造型机在开机前的检查　检查造型机空运转情况，要求震击或压实机构、起模机构工作平稳，活塞运行速度均匀，限位器所限位置合适。顶箱机构不卡住、不歪斜。各种翻转、升降机构动作到位。试运行后造型机应停止在初始位置。

（3）造型机工作结束或停机后的清理

1）停机前应清除加砂斗、抛砂机内、型砂输送带上的型芯砂，以免停机一段时间后型芯砂干硬在机器内或输送线上。

2）造型机工作结束后，将造型机停止在初始动作位置，关闭气阀，气压表回到“0”位，切断主机和辅机电源。

3）清扫干净机器上和周围的散沙，擦净机器上的灰尘。

2. 造型机操作人员的安全操作技术

1）操作人员上岗前，必须按规定穿戴好劳动保护用品。

2）操作人员必须了解所操作机器动作的动力来源及功能，熟练掌握本工位机器的操作方法。

3）了解整个生产线各工位主机与辅机的工作顺序和工作情况，听从造型生产线指挥调度人员的指令，按生产线操作顺序操作本工位机器运行。整个生产操作过程中，都必须严格遵守机器造型的操作技术过程。

4）在机器运行过程中，发现机器动作异常，或声音异常时，要采取果断措施，立即切断气源、电源，分析机器故障原因，操作者有能力排除机器故障的，可以自己动手排除故障。如果无法排除故障，则由维修人员帮助排除故障。

5）严禁非操作人员随意起动机器，严禁将材料、工具等物品搁放或靠放在造型

设备上，以免物体碰撞开关或按钮引起机器误动作，或物品落入机器内出现卡碰事故。

5.3 砂型（芯）烘干

对于一些大型、重型及质量要求较高的铸件，为确保产品质量，目前仍采用干型铸造。砂型（芯）烘干是干型铸造的重要工序。

5.3.1 烘干原理

砂型（芯）烘干时，其脱水过程由表面水分蒸发和内部水分往外表层迁移所组成。

表面水分蒸发与砂型（芯）的表面积大小，炉气的温度高低、湿度高低、流通情况密切相关。被烘干砂型（芯）的表面积越大，炉气温度越高、湿度越低、流通性越好，则砂型（芯）表面水分蒸发就越快，烘干时间也就越短。

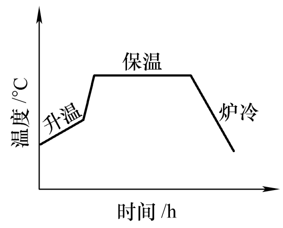
内部水分迁移，其速度取决于砂型（芯）内外温度差和湿度差。砂型（芯）在炉内加热，其内部湿度大表面湿度小；内部温度低表面温度高。湿度差使水分由砂型（芯）内部向外表层迁移，有利烘干。温度差却迫使水分由砂型表层往内部扩散，对烘干不利。

为能快速烘干，须制定合理的烘干工艺，一要创造最佳表面水分蒸发条件，二要促成砂型（芯）内外的湿度差大而温度差小，以到达在湿度差作用下，使砂型（芯）内部水分尽快迁移到表面层而蒸发散失。

5.3.2 烘干过程

根据烘干原理，炉内烘干过程应先低温，后高温，分阶段进行，见表 5-98。

表 5-98 炉内烘干操作方法

<table>
<tr><td colspan="2">烘干曲线</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>序号</td><td>烘干过程</td><td>目的</td><td>操　作　要　点</td></tr>
<tr><td>1</td><td>预热阶段</td><td>升温均匀</td><td>1）点火。应稳火慢烧，缓慢升温
2）关闭烟道闸门。限制炉气流通，保持较高的炉气湿度，减少砂型（芯）表面的水分蒸发、散失，利用其原有湿度的高导热性，尽快实现内外透热，达到炉气温度，砂型（芯）内部和表层温度均匀一致</td></tr>
</table>

（续）

序号	烘干过程	目的	操　　作　　要　　点
2	高温加热阶段	表层干燥	1）剧烈燃烧。使炉温急速升高，达到规定的最高烘干温度，进行保温 2）全部打开烟道闸门。加快炉气循环，降低炉气湿度，在湿度差作用下，砂型内部水分尽快迁移到表层汽化、散失，实现高温脱水
3	炉内降温阶段	深层干燥	1）停止燃烧。进行炉内降温冷却至出炉温度 2）半关烟道闸门。利用缓缓流通的炉气和砂型（芯）自身的蓄热，使内部残余水分扩散至表面汽化、散失，使砂型（芯）得以彻底干燥

5.3.3　烘干规范

砂型（芯）的烘干温度取决于粘结剂的性质，烘干时间与砂型（芯）截面厚度、水分和粘结剂含量及砂粒大小有关。

1. 粘土砂型、砂芯的烘干规范（见表 5-99、表 5-100）

表 5-99　粘土砂型的烘干规范（室式燃煤烘干炉）

砂箱的平均轮廓尺寸/mm	升温时间/h	保温温度/℃	保温时间/h	出炉温度/℃
≤1000	3～4	300～400	3～4	<150
1001～2000	4～5	350～400	4～6	<150
2001～4000	5～7	350～450	6～8	<150

注：按砂型类型控制烘干温度：一般砂型 350～480℃；加木屑的砂型 300～350℃；加有机粘结剂的砂型 250～300℃。

表 5-100　粘土砂芯的烘干规范（室式燃煤烘干炉）

砂芯体积/dm^3	升温时间/h	保温温度/℃	保温时间/h	出炉温度/℃
≤10	2～3	260～300	2～3	<150
>10～100	2～3	300～350	3～4	<150
>100～500	3～4	300～400	5～6	<150
>500～1500	4～5	350～400	6～7	<150

2. 水玻璃砂型、砂芯的烘干规范（见表 5-101、表 5-102）

表 5-101　水玻璃砂型的烘干规范

类别	装炉温度/℃	升温速度/(℃/h)	均温		升温速度/(℃/h)	保温		降温	备　注
			℃	h		℃	h	h	
中、小砂型	≤70	40～50	—	—	—	340～360	3	2	水玻璃砂表干型面砂层 50mm 内的残余水分应 <0.7%
大砂型	≤80	30～40	200～220	4	40～50	360～380	5	4	

表 5-102　水玻璃砂芯的烘干规范

类别	装炉温度/℃	升温速度/(℃/h)	均温		升温速度/(℃/h)	保温		降温	备　注
			℃	h		℃	h	h	
中、小砂芯	≤70	40～50	—	—	—	260～280	3	2	水玻璃砂芯面砂层80mm内的残余水分应≤0.4%
大砂芯	≤80	30～40	200～220	3	40～50	360～380	4	3	

3. 油类粘结剂砂芯的烘干规范（见表 5-103）

表 5-103　油类粘结剂砂芯的烘干规范（室式燃煤烘干炉）

<table>
<tr><th colspan="2">类　别</th><th>装炉温度/℃</th><th>升温时间/h</th><th>保温温度/℃</th><th>保温时间/h</th><th>出炉温度/℃</th></tr>
<tr><td colspan="2">桐油砂芯</td><td rowspan="4">160～200</td><td rowspan="2">0.5～1.5</td><td rowspan="2">200～230</td><td rowspan="2">1.5～2.5</td><td rowspan="4"><150</td></tr>
<tr><td colspan="2">亚麻油砂芯</td></tr>
<tr><td rowspan="2">合脂砂芯</td><td>大件</td><td rowspan="2">1～2</td><td>220～260</td><td>2.5～3.5</td></tr>
<tr><td>中小件</td><td>200～240</td><td>1.5～2.5</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="4">备注</td><td colspan="3">油类砂芯大小分类</td><td colspan="2">体积/dm³</td></tr>
<tr><td colspan="3">大砂芯</td><td colspan="2">>35～100</td></tr>
<tr><td colspan="3">中砂芯</td><td colspan="2">6～35</td></tr>
<tr><td colspan="3">小砂芯</td><td colspan="2"><6</td></tr>
</table>

4. 其他粘结剂砂芯的烘干规范（见表 5-104）

表 5-104　其他类粘结剂砂芯的烘干温度（室式燃煤烘干炉）

类　　别	最高烘干温度/℃	最适宜烘干温度/℃
纸浆废液砂芯	200	160～180
淀粉、糊精和纸浆砂芯	180	160～180
糖浆砂芯	150～175	150～175
松香、面粉砂芯	175	—
沥青砂芯	220～240	200～220

5. 砂芯的微波加热烘干

铸造生产采用的微波频率为2450MHz。微波加热过程中，微波能量是同时作用于被加热物体的整个截面。所以，被加热物体是均匀地吸收微波能量并转化为热能，表里一致地同时加热而使温度迅速升高。与传统加热方式相比，劳动环境及条件较好。砂芯采用微波加热技术烘干，可节约能源60%～80%。

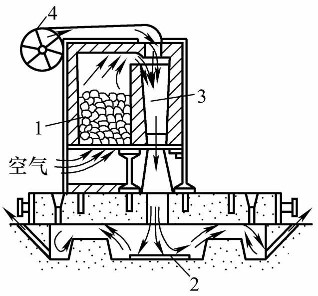
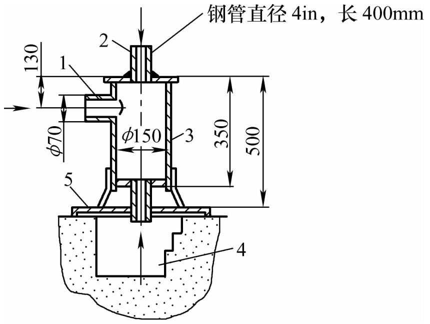
砂芯的烘干（干燥和硬化）：采用微波加热方法，由型芯中排出剩余水分和加热型芯使型芯粘结剂硬化。型芯烘干用微波炉采用大功率磁控管，以产生频率为2450MHz的微波能量。

微波烘干适用范围：油砂芯预干燥、粘土砂型芯的干燥、储存型芯的二次干燥、酚醛和尿醛树脂粘结剂砂芯的硬化、糊精砂芯的硬化等。微波也可用于熔模铸造中的脱蜡、烘干、焙烧。应注意：采用微波烘干时，烘干板应采用石棉、陶瓷、玻璃等非金属材质，而不能用金属材质的烘干板。

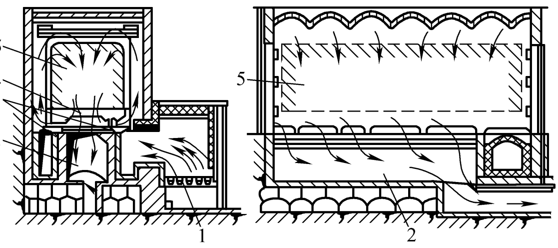
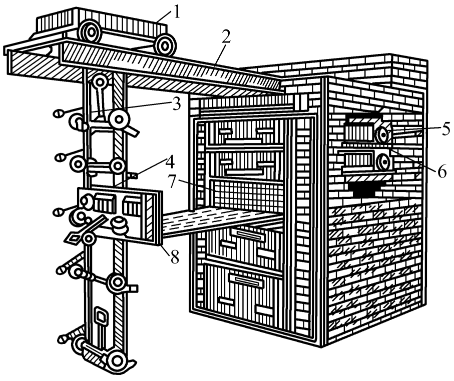
5.3.4　烘干设备

砂型（芯）烘干设备见表 5-105。

表 5-105　烘 干 设 备

烘干方法	烘干设备		使用方法	简图
表面烘干	移动式烘干炉	鼓风机送风（燃料为煤或焦炭）	合型后，将烘干炉置于上砂型。燃烧室 1 中产生的炉气与鼓风机送入的空气混合后，沿加热管 3 经过冒口或浇口吹入型腔中。热交换后的废气、水气通过上下砂型间的缝隙，或特设排气孔排出。控制烘干时间，完成烘干任务	1—燃烧室　2—粘土板　3—加热管　4—鼓风机
		压缩空气送风（燃料为煤）	燃烧的煤气与压缩空气混合气流，经烘炉喷嘴，通过冒口、浇口，或专用金属罩板上的通孔，吹入型腔中，对铸型加热烘干 适用大型铸件地坑砂型的烘干	1—煤气进口　2—压缩空气进口　3—移动式烘干炉 4—铸型　5—金属罩板
	喷灯、喷枪烘干		用煤油喷灯或柴油喷枪的燃烧火焰，直接烘烤砂型（芯）表面。适用于表面干型、局部修理后的烘干、喷刷涂料后的烘干	

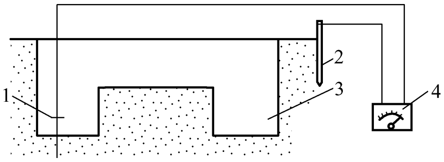
（续）

烘干方法	烘干设备		使用方法	简　　图
整体式烘干	周期式烘干炉	室式（燃料为烟煤或焦炭）	燃烧室1产生的高温炉气，流向沿炉壁伸展的火道3，并经通道顶部排烟孔进入烘干室，砂型（芯）失水干燥，废气经烟道2排出 适用于大的砂型（芯）的烘干	 1—燃烧室　2—烟道　3—火道　4—台车　5—砂型（芯）
		抽屉式	用于烘干小型砂芯	 1—小车　2—钢梁　3—把手　4—挂钩　5—车轮 6—车轨　7—后隔板　8—前隔板
微波加热方法	微波加热炉		型芯烘干用微波炉采用大功率磁控管以产生频率为2450MHz的微波能量 适用于砂芯的烘干（干燥和硬化）	

5.3.5　烘干质量检验及评定

烘干质量的检验方法及评定见表5-106。

表5-106　烘干质量的检测方法及评定

序号	检　测　方　法	评　定　方　法
1	用毫伏表检查砂型的烘干深度  砂型烘干深度的检测 1—铁钉　2—铜钉　3—型腔　4—毫伏表	图示方法及评定：毫伏表4的两极，一个用导线接铜钉2，另一个接铁钉1。测量时，先将铜钉插入潮湿的砂型处，再用铁钉逐步钉入同一砂型3要测量的部位。当铁钉遇到湿砂后，两极间形成了电路，使指针偏转。此时，拔出铁钉，测量钉入的深度，即可表明砂型的烘干深度

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="4">检　测　方　法</th><th colspan="3">评　定　方　法</th></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="4">用温度计插入出气孔中，测量温度</td><td colspan="3">当温度小于 100℃，表明未烘干
当温度大于 100℃，已烘干</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="4">用通气针插入出气孔中，看是否有水气凝聚在上边</td><td colspan="3">金属通气针上有水气凝聚，表明未烘干</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="4">观察出炉时砂型（芯）排气孔，有无水气冒出</td><td colspan="3">有水气冒出，则未烘干</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="4">用手指弹击砂型（芯），听声音</td><td colspan="3">声音低沉，表明不干；声音清脆，已烘干</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="4">用两根金属棒插入砂型（芯）中，其间距 5 ~ 10mm，用导线与电流表接通，接通开关，导线上有低压电流流过</td><td colspan="3">电流随湿度降低而减小，当电流为零时，则被测部位已烘干</td></tr>
<tr><td rowspan="4">7</td><td colspan="4">取样检测残留水分。取样部位如下：</td><td colspan="3" rowspan="4">检测取样的残余水分（质量分数）
当水分小于 0.4%，则已烘干
当水分大于 0.4%，则未烘干</td></tr>
<tr><td colspan="2">砂型</td><td colspan="2">取距表面 40mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">砂芯</td><td>壁厚 < 60mm</td><td colspan="2">取壁厚中心处</td></tr>
<tr><td>壁厚 ≥60mm</td><td colspan="2">取距表面 30mm 处</td></tr>
<tr><td rowspan="6">8</td><td colspan="4">油砂芯用比色法检测</td><td colspan="3">烘干后的砂芯与标样比较颜色</td></tr>
<tr><td colspan="3">类别</td><td>标样颜色</td><td>砂芯颜色</td><td>表面色泽对比</td><td>评定</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">合脂砂砂芯</td><td rowspan="2">棕褐色、有光泽</td><td>呈黄色或棕黄色</td><td>比标样色泽浅</td><td>烘干不足</td></tr>
<tr><td>呈暗棕黑色</td><td>比标样深</td><td>烘干过渡</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">亚麻油砂砂芯</td><td rowspan="2">棕黄色或棕色有光泽</td><td>呈淡黄色或黄色或浅棕色</td><td>比标样浅</td><td>烘干不足</td></tr>
<tr><td>呈棕褐色或暗棕色</td><td>比标样深</td><td>烘干过渡</td></tr>
<tr><td rowspan="3">9</td><td colspan="4" rowspan="3">油砂芯划痕法。在烘干并冷至室温的砂芯表面划痕，观察划痕线条</td><td colspan="2">划痕线条呈白色</td><td>合格</td></tr>
<tr><td colspan="2">划痕不呈白色线条，脱落的砂砾粘手</td><td>烘干不足</td></tr>
<tr><td colspan="2">划痕线条不呈白色且酥松</td><td>烘干过渡</td></tr>
</table>

5.3.6　操作规程

1. 装炉

（1）烘干炉在装炉前

1）检查炉体、炉门、烟道、鼓风机、仪表、闸门等是否正常。

2）检查管道，或天然气管道有无泄漏。

3）检查台车上下、轨道沟槽、牵引钢索、拖车机构等有没有障碍。

4）检查通道是否畅通。

5）了解砂型和砂芯尺寸、形状和要求。

（2）装炉

1）合理安排装车位置。尺寸大的、砂层厚的、重要的砂型（芯）应放置在炉温较高的地方，型腔较深的砂型尽量放在上面。尽量使台车各部载重均匀。

2）尽量将砂号相同、大小相近的砂型（芯）放在同一炉内烘干。

3）砂芯上有凸出的砂胎处应覆盖草袋、草灰，以免过烧。

4）装车时，要避免冲撞。发现有撞坏处，应立即吊下修理。

5）要用三角铁将箱底垫平、垫稳，严禁用砖、石、木块等物作垫块。

6）为保持炉气流通，利于烘干，在台车上堆放砂型要保持一定距离，其要求见表5-107。

表5-107　砂型堆放的距离要求　　（单位：mm）

砂型分类	砂型离台车高度 ≥	砂型离炉门距离 ≥	砂型离炉顶距离 ≥	砂型离炉壁距离 ≥	砂型上下间距 ≥
小型	50	250	150	100	30～50
中型	100	30	200	150	50～100
大型	150	350	250	200	100～150

7）对于刷涂料的砂型（芯）应自然干燥2h以上，上涂膏的砂型（芯）应自然干燥4h以上才能装炉。

8）装完车后，应迅速进炉，关闭炉门。

2. 加热操作

1）砂型（芯）可在常温或低于130℃进炉，装炉最高温度不得超过150℃，高于规定温度要采用降低升温速度的方法，在砂型（芯）达到最高温度时所需加热时间与一般情况相同。

2）用无烟煤加热，点火前准备好引火物和无烟煤。用煤气加热，不能关闭炉门点火。点火后要检查烧嘴是否燃烧。停火时要将烧嘴关好。

3）严格执行工艺规范，控制升温速度，保证保温时间，防止过烧或烘不干现象。当大小不同的砂型（芯）同炉烘干时，应按较大的砂型（芯）烘干规范进行。当粘土砂型（芯）与水玻璃砂型（芯）同炉烘干时，应按粘土砂型烘干规范进行。

4）随时检查炉内的燃烧情况，及时调整煤气流量，每隔半小时记录一次炉温。

5）热电偶温度计应定期校验。

6）台车进出炉时，车的两旁不准站人，以免砂箱倒塌伤人。

7）砂型烘干深度要求。炉内烘干：大件砂型大于100mm；大件砂芯大于120mm；中小件砂型，基本干透；中小件砂芯，干透。地坑造型烘干深度大于80mm。

3. 出炉与吊运

1）砂型吊放场地要摊平，砂型排列要整齐。

2）砂型（芯）从台车上吊下后，要检查烘干后的表面质量，必要时测定残留水分，以决定是否要重新烘干。

3）对需要重新回炉的砂型（芯），要进炉烘干，不可遗忘。

4）对二次刷涂料的砂芯，应重新预热烘干，烘干温度为 180 ~ 200℃。

5）不是当天出炉的砂芯，使用前应预热烘干，烘干温度为 180 ~ 200℃。

5.4　合型

合型（又称合箱，或配箱，或铸型装配）是铸型制造的最后一道工序。在这一工序中，要进行下芯，不仅应使型芯稳固于砂型中，而且要使浇注时型芯产生的气体顺利通过砂型排出。当下芯无误后，就可终合型、紧固，完成整个砂型的制造，等待浇注。

当砂型和砂芯质量很好而合型操作不符合工艺要求时，也会引出各种铸造缺陷，如气孔、砂眼、错型、偏芯、漂芯、飞边、毛翅、抬型、跑火等，甚至造成报废，尤其是大型、重型和复杂铸件的合型更为重要。因此，合型操作要求仔细而准确。

5.4.1　合型前的准备

1. 熟悉铸造工艺图

操作人员要根据合型计划，熟悉所要合型的铸造工艺图样、工艺卡和工艺规程等工艺文件。特别是结构复杂的铸件，应看懂其铸造工艺图：砂型数量和质量要求；冒口和浇注系统特点；砂芯数量，各个砂芯的相互位置关系；下芯的顺序，固定方法，通气方法；芯撑、内冷铁的数量和位置；铸型的装配次序；型中铸件的材质、质量（kg）和所需的钢液量等。

2. 备齐合型操作用品

准备齐全合型用品，如石棉绳、冷铁、芯撑、浇口杯、冒口圈、吊具、铁锹、铁丝、糊型缝的烂泥、紧型用辅具等。

3. 准备好足够的合型场地

合型前，要准备好合型场地。合型场地要松软而平整、清洁和干燥。松软的场地上划出排气道，以利于下型摆平和浇注时排气。场地要宽裕，以便于摆放砂型、吊运、翻型和合型操作。

若在同一个场地进行连续浇注，必须有一定的冷却时间，或采用错位排列的方法合型。否则，前一型铸型浇注产生的潮气被地面吸收后，会传入下一型铸型，很容易在内外冷铁表面凝结成水珠或氧化生锈、引起呛火、形成针孔、气孔等缺陷。

5.4.2　砂型摆放及质量检查

1. 砂型摆放及清理

下砂型在场地上的摆放，要按次序排列，要安全、平稳、成行摆放整齐，合型后的浇口杯排列要成线，便于桥式起重机吊运浇包浇注时，较快地对准浇口杯。砂型间距应 > 100mm；两排砂型间隔应留有 > 300mm 的通行道，便于人员行走，便于浇注操作和引火，便于应急处理跑火事故等。

砂型摆放后，要将上型和下型型腔和分型面上的积砂、浮砂和灰尘清理干净。

2. 型（芯）质量检查

主要是通过外部观察，或用样板、检查工具，对上型、下型、砂芯的形状、尺寸、紧实度、烘干质量、完整性等进行检查。

坚持质量不合格不准合型的原则。例如，由于吹 CO_2 过度，水玻璃砂型（芯）表面出现返碱或发酥；型芯烘干不良，局部过烧，局部损坏，必须仔细修补并烘干；气路不通，变形较大，尺寸不符；型芯损坏严重，分型面不平整，无型锥或合型号辨认不清；浇冒口和冷铁放置不当，尺寸不合等，出现以上任一情况，均不得合型，必须要求全部合格。

质量检查本身也要强调安全操作。例如，对于大型、重型砂芯，需要桥式起重机吊起，人在下面修芯时，一要桥式起重机操作者绝对听从地面人员指挥，密切配合；二要在吊起的大型砂芯下面设置安全防护架，以防大型砂芯突然滑落伤人；三要有辅助人员现场协助，不可单独一人进行操作。

5.4.3　下芯及内冷铁

下芯操作主要是砂芯装配、砂芯的固定、砂芯的排气、内冷铁的安放、下芯后的质量检验等。必须按照铸造工艺图和工艺规程要求，认真操作。

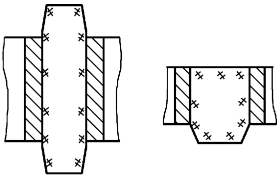
1. 砂芯的固定

简单铸件上的单个砂芯，可直接放入型腔中的芯座内。复杂铸件往往一型有多个砂芯，这些砂芯有的在型外进行“预组装”后放入型内；有的是在型内按工艺文件规定的“下芯顺序”进行装配。对于装配好的砂芯，必须固定牢靠，形状完整，尺寸准确，排气顺畅。

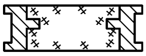
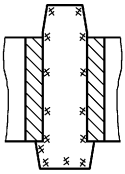
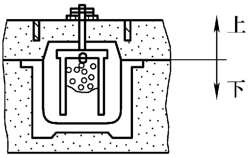
砂芯在砂型中的固定，一般用砂型上的芯头。必要时（如尺寸较大或结构特殊的砂芯）借助于芯撑。

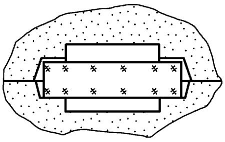
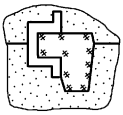
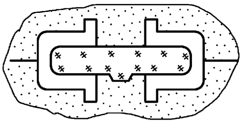
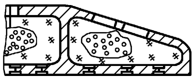
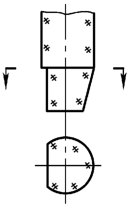
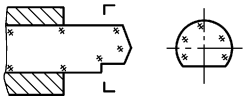
（1）芯头　芯头是砂芯的组成部分。常见芯头的形式及应用见表 5-108。

表 5-108　常见芯头的形式及应用

分类	序号	芯头形式特点及应用	简　图
垂直芯头	1	常规的垂直型芯，上下都做出芯头（图 a）。定位准确，固定可靠 适用于高度大于直径的型芯	 a)　b)
	2	只有下芯头，不做上芯头（图 b）。有利于合型。适用于截面较大而高度不大的型芯 用于湿型时，型芯应高出 0.5～1mm，以使型芯与上型能贴紧，也可使型芯与上型留出一小间隙，在型芯上端环出气孔撒一圈细干砂形成一小砂堤，以阻挡金属液钻入 用于干型时，则一定要留一间隙，环出气孔四周放一圈泥条或石棉绳，以防合型时压坏型芯及钻芯	

（续）

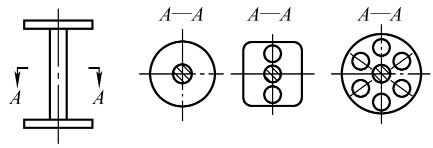
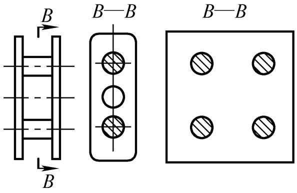
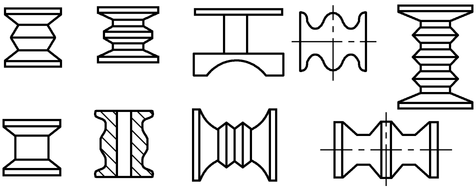
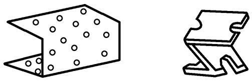
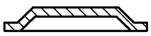
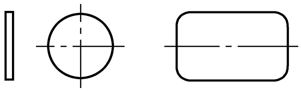
<table>
<tr><th>分类</th><th>序号</th><th>芯头形式特点及应用</th><th>简　　图</th></tr>
<tr><td rowspan="3">垂直芯头</td><td>3</td><td>上下都不做芯头（图 c）。有利于调整型芯位置，减小砂箱高度
适用于较稳的大型芯</td><td rowspan="3">

c)　d)


e)</td></tr>
<tr><td>4</td><td>加大下芯头（图 d）
适用于细高的型芯</td></tr>
<tr><td>5</td><td>只有上芯头（图 e）用螺栓钩（或铁丝）将其固定在上箱上</td></tr>
<tr><td rowspan="5">水平芯头</td><td>6</td><td>常规的水平芯头，两端都有芯头（图 f）。可使型芯稳固。放入砂型后，应在芯头放泥条或石棉绳，以防金属液钻入芯头的通气道中</td><td rowspan="5">

f)　g)


h)　i)


j)　k)</td></tr>
<tr><td>7</td><td>悬壁芯头，只在一端有芯头（图 g）。型芯重心移入芯头支撑面内。必要时可放芯撑</td></tr>
<tr><td>8</td><td>联合芯头（挑担芯头）(图 h)，两个芯子共用一个芯头</td></tr>
<tr><td>9</td><td>芯撑支承型芯（图 i）。大型复杂件型芯多，采用吊芯困难，必须用芯撑支承</td></tr>
<tr><td>10</td><td>定位芯头（图 j、图 k）。型芯在砂型中不仅要固定，而且能在轴向和周向定位准确，为此，采用定位芯头
图 k 为垂直定位芯头，图 l 为水平定位芯头</td></tr>
</table>

（2）芯撑　砂芯在砂型中主要用芯头固定，但有时砂芯无法设置芯头，或只靠芯头固定仍难以稳定，这时，常采用芯撑加固砂芯，以起到辅助支撑作用。

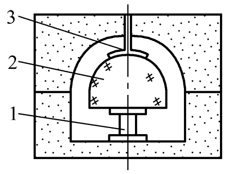
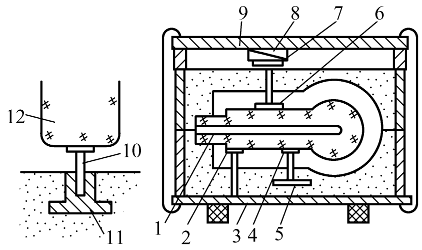
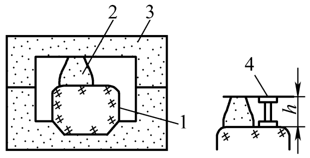
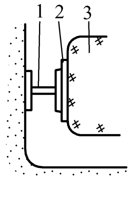
1）芯撑的形式及应用见表 5-109。

表 5-109　芯撑的形式及应用

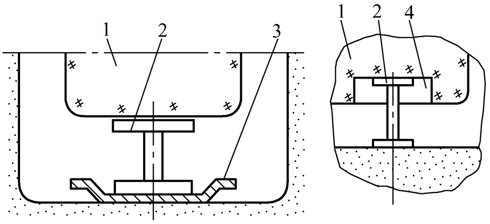
序号	芯撑形式	简　　图	应　　用
1	单柱双面芯撑		1）支撑中小型芯 2）柱上有槽纹，用于支撑承受压力的铸件
2	单柱单面芯撑		用于湿型
3	双柱或四柱芯撑		支撑中大型芯
4	铸铁芯撑		用于厚大铸件
5	铁皮芯撑（0.5mm 镀锌薄钢板）		用于薄小铸件
6	芯撑盖（0.5mm 镀锌薄钢板）		用于水压、气压试验件，防漏
7	芯撑垫片		用于调整芯撑高度

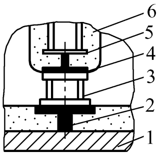
2）芯撑的使用方法见表 5-110。

表 5-110　芯撑的使用方法

序号	使用方法		简　　图
1	选用芯撑形状	应根据在砂型中的位置，型芯和型腔的形状，铸件壁厚，选用芯撑的形状和尺寸	 1—双面芯撑　2—型芯　3—单弧面芯撑
2	单面芯撑	芯撑杆状的一端，应顶在坚硬的水平支撑物上 1）支在预埋的特种硬撑座 11 中 2）芯撑 2，直接顶在底座板 3 上 3）芯撑 4，顶在舂砂时预埋入砂型的铁板硬撑上 4）芯撑 6，通过垫板 7 和压板 9，用楔铁（两块）8 楔紧	 单面芯撑使用方法 1、12—型芯　2、4、6、10—芯撑　3—底座板 4—硬撑　5、7—垫板　8—楔铁（两块）　9—压板 11—特种硬撑座
3	双面芯撑	双面芯撑高度应等于型芯和砂型间的实际距离。测取方法： 在型芯上放一团软泥 2，合上砂型 3，然后将上型吊起，测量被压缩的泥团厚度，即芯撑高度 h	 测量芯撑所需高度 1—型芯　2—泥团　3—上型　4—芯撑
		芯撑与型芯间有间隙时，芯撑安放不牢固，需用芯撑垫片塞紧	 用芯撑垫片塞紧芯撑 1—芯撑　2—芯撑垫片　3—型芯

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="2">使用方法</th><th>简　　图</th></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">双面芯撑</td><td>对在水压下工作的铸件尽量不放芯撑。必须用时，应采用防漏措施：
1）芯撑下垫 0.5mm 厚镀锌薄钢板，让镀锌薄钢板与铸件熔合
2）芯撑与铸件凸台熔合</td><td>

使用芯撑时防渗漏措施
1—型芯　2—芯撑　3—薄铁皮　4—铸件上的凸台</td></tr>
<tr><td>对于湿型，为防芯撑陷入，在相应位置表面预埋一个铁片，以增加强度
芯撑双面和砂芯、砂型型腔表面要随形贴合</td><td>

芯撑在湿型中的放置
1—底板　2、4—铁皮支撑　3—芯撑
5—芯骨　6—型芯</td></tr>
</table>

2. 型芯的排气

型芯在浇注时产生的气体必须能通过砂型顺利排出型外。

1）水平型芯的排气

①一般的水平型芯，合型前，用稻草或绳子的一端塞入芯头出气孔里，另一端引到砂箱外面。合型后，抽出稻草或绳子，留下出气孔。

②较大的水平型芯，用一根钢卷屑，和上述方法一样放入，作为型芯气体排出的通道。

2）垂直型芯的排气。在造型时，已在芯座上扎有出气孔。合型前，要检查是否畅通。若没有出气孔，下芯前一定要设法在芯座上扎出排气孔。

3）将砂型摆放在开有排气沟的平坦的松疏砂地上，使下型内出来的气体由此排出。

4）在砂型外气体的排出口作上标记，以便及时引气。

3. 安放内冷铁

内冷铁在铸型中能调节和控制铸件凝固方向，减少冒口内金属液的消耗，提高铸件致密度，提高铸件预定部位上的硬度等。外冷铁已在造型时埋入砂型，而内冷铁往往是在合箱时放入型腔内的。在浇注时内冷铁熔合于铸件中，因此内冷铁应与铸件材质相同或相近。

4. 下芯后的检查

下芯后的质量检查，要对照铸造工艺图样检查砂芯的数量和位置、砂型与砂芯的相对尺寸、砂芯间的相对位置、砂芯与砂型的配合间隙、砂芯的排气通道是否畅通。

检查砂芯下的是否正确和稳固；检查下芯过程中有无局部损坏；检查砂芯表面涂料是否有脱落；对损坏处，应修整、刷涂料，并用喷灯烘干；检查排气的气路是否畅通；检查芯头与芯座间隙是否填塞好，以防金属液钻入芯头；用量具（如内卡钳、外卡钳、金属直尺、卷尺）测量主要壁厚是否符合工艺图要求。

5.4.4　合型操作

合型操作工作主要是型腔精整、验型和合型。

1. 型腔精整

1）在型内，将安装好的砂芯之间、砂芯与砂型之间的空隙和裂缝，用填补涂料或型砂填平修整。芯头与芯座间过大的间隙，用石棉绳或型砂填塞压紧修平，并刷涂料，用喷灯烘干。

2）将铸型内的散砂、灰尘和杂物清除干净。方法是：

①对较浅的型腔，采用皮老虎吹出，或用嘴吹出（安全提示：要注意防止吹起的尘砂落入眼睛）；或用提钩头部固定一团软泥，用软泥将型腔内散砂粘出。

②对于窄而深的型腔，采用 Y 形三通管，管的一头接压缩空气，另一头套上软管深入型腔内。打开压缩空气开关，高速气流通过直管时，套在支管上的软管内形成负压，将型腔内的散砂吸出，如图 5-34 所示。

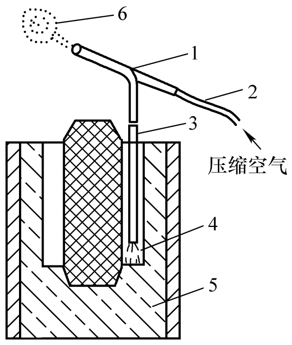


图 5-34　负压吸砂法
1—Y 形钢管　2—直管接压缩空气
3—支管上接软管　4—型腔内的散砂
5—砂型　6—吸出的砂尘

2. 验型操作

验型（又称验箱，或预合箱）是指在铸型精整后，将上型合在下型上，并立即再开型的操作。一般是用泥条放在被检查部位（如分型面上、芯头顶面、砂芯与上型之间），目的是检查合型质量。一是检查铸件壁厚是否均匀；二是检查合型后砂芯是否被压牢，芯撑高度是否合适；三是检查型腔是否被压坏；四是检查分型面是否严实无间隙，通气孔是否通畅等。

开型后，根据泥条压扁厚度，检验合型时所围石棉绳和泥条的厚度，以及砂芯高度。发现问题要进行调整，调整到铸件壁厚符合工艺图要求后，再合上上型。

验型操作适用于某些重要的铸型，特别是干型，要进行验型。这是保证大型铸件质量，防止产生缺陷，所必经的重要工艺操作。但验型容易损坏砂型，故开型次数以 1 ~ 2 次为宜。

3. 合型操作

验型检查合格后，可以进行合型。对大型复杂铸件，其合型操作所消耗的时间很

长，为减少缺陷，合型操作要注意以下几点：

1）合型操作要强调安全。例如，需要在砂箱下面工作时，则必须先把砂箱架起来，四角垫稳定后，才允许在砂箱下面操作，以防砂箱滑落伤人。

2）下砂型要按次序排列，型与型之间留一定间距。仔细检查壁厚、气眼、冷铁，以及有无碰坏或压坏的砂芯和砂型。发现砂芯偏移、芯撑漏放、型内有散砂时，应采取措施。

3）为防跑火，对型腔较深或底部吃砂量较小的下砂型，要放平并垫好，必要时，将砂型埋在地坑内浇注。

4）为防跑火，对于干型，在分型面上用细干砂、石棉绳或白泥条沿着型腔边沿围一圈。为防钻芯和堵气孔，在芯头处和气眼周围垫石棉绳或白泥条。

5）翻转上箱后，要检查一下砂型有无局部脱落，有无裂纹。合型时，上型要吊平，缓慢平稳下落，避免振动，按合型标志（合箱号）对准平稳合型。合型后，应在砂箱四角处填塞适当厚度的垫铁，以免紧箱（或压箱）时压崩铸型。

6）干型温度高于60℃时，不允许合型。

7）检查浇注系统各组元是否干净和畅通，直浇道与下型上的横浇道是否对准。按工艺要求，将烘干的浇口杯、冒口圈安放好，将接缝处糊严，并盖好，以防杂物落入。所有通气孔要作出标记，以便于浇注时点火引气。

8）大型铸件的铸型要求底部排气，大型铸件合型后，要抹好合箱缝。

9）压上压铁，或用紧固装置紧固好铸型，以防抬箱。

10）将金属液牌号、浇注重量用粉笔写在箱壁明显处，为浇注人员指明，以防浇错。合好的铸型若没有及时浇注，为防止缺陷，必须重新烘干。

总之，要根据铸造工艺图和铸造工艺规程，认真进行铸型的装配。

在装配操作时，应着重关注如下六个问题：①铸件各主要部位的尺寸，一定要符合零件图和工艺图的要求；②砂芯要放牢靠，气路要畅通；③内、外冷铁位置要准确，安放要牢固；④浇注系统要畅通，型腔和分型面上的积砂或浮砂要清除干净；⑤芯头和分型面四周间隙应放石棉绳，保证砂芯不窜位，分型面不“跑火”；⑥验箱和合箱时，一定要对准合箱号和箱锥，以防止压塌砂型、砂芯或错箱。

5.4.5　砂型的紧固

砂型在下芯、精整、检查合格后，合上上型。为防浇注时抬型和吊运中错型，必须进行紧固。其方法见表5-111。

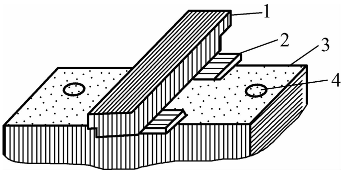
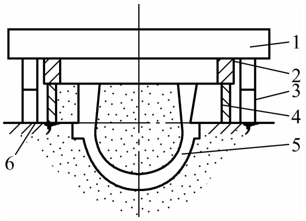
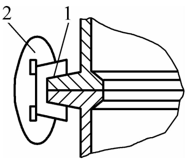
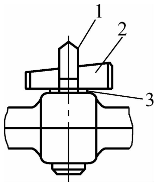
5.4.6　合型操作规程

1. 准备

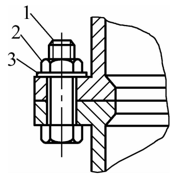
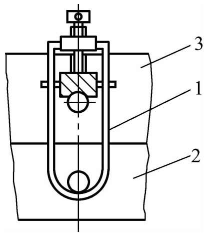
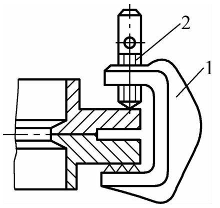
1）读懂工艺图，了解铸型结构特点和工艺要求，做到心中有数。

2）检查砂型和型芯质量。观察表面，用样板或量具检测形状和尺寸，若紧实度不合要求，烘干不良或局部损坏，须仔细补修、加固、烘干再经检查合格后方可使用。

表 5-111　砂型紧固方法

序号	紧固方法		应用特点	简图
1	压铁	砂箱造型	1）压铁重量一般为铸件重量的 3 ~ 5 倍，或由计算得出 2）应对称且平稳放置，尽可能放在砂箱中间。不应只压一边。不要放在箱角上以防碰掉 3）应压在箱壁，或箱带上，并须垫上木板。不应直接压在砂型上 4）不应紧靠或盖住出气孔和冒口，更不能妨碍浇注操作 5）若必须两块压铁叠起来，则两块之间要垫以木板，以防滑脱伤人 6）只有在铸件凝固后才能去掉压铁，否则产生跑火	 1—压铁　2—木垫板　3—砂箱 4—浇口
		地坑造型	采用压铁“暗压法” 在浇注前，压铁 1 由垫铁 3 支撑，在盖箱 4 和压铁 1 之间，用楔铁 2 塞紧。分型面砂型不承受压铁重力。盖箱通过楔铁紧靠压铁，防止盖箱抬起	 地坑造型压铁 1—压铁　2—楔铁　3—垫铁 4—盖箱　5—型腔　6—地坑
2	弓形卡（楔形箱卡）		砂箱外缘带有对称布置的楔形卡台。用弓形卡卡到卡台上，将上下型紧固。应用较广	 1—砂箱　2—弓形卡
3	锁紧销		用于中、大型砂箱的小批量生产	 1—锁紧销　2—楔铁片　3—垫圈

（续）

序号	紧固方法	应　用　特　点	简　　　图
4	螺栓夹紧	用于中、大型砂箱的小批量生产	 1—螺栓　2—螺帽　3—圆垫片
5	U 形环紧固卡	用于中、大型砂箱的小批量生产	 1—U 形环箱卡　2—下型　3—上型
6	箱卡-螺栓联合夹紧	用于手工造型中、小型砂箱	 1—箱卡　2—螺栓

3）检查芯撑、内冷铁及其他铸入物的质量。在工艺和实际需要放入芯撑固定型芯时，则芯撑的形状和高度应符合工艺要求，表面应镀锡，生锈芯撑不能用。工艺上需要放入的内冷铁，其材质必须与铸件相同或相近，必须要经喷砂或喷丸处理，去除表面铁锈和油污，必要时镀锡或锌，以防氧化。工艺需要铸入铸件内的钢管，表面应镀锡，管内应填实符合工艺要求的型砂，并须经烘炉烘干。

4）准备好紧固用的用具。如拉芯铁丝或螺栓钩，紧箱的卡具以及其他。

5）场地与摊箱。放置砂型的砂地应挖松摊平，并挖出排气沟以利下砂型排气。摊箱时，砂型底部要垫实，摆放要整齐，摆成行、成线，浇口杯在同一边、同牌号的摆在一起，并留出安全通道。

6）进入下工序的所有准备工作均应符合工艺要求，不合格者不能转入下工序。

2. 装配

1）清型。将摊开的下型型腔，侧立的上型型腔，明暗冒口，内、横、直浇道及分型面应清扫（吹）干净，无残砂。疏通芯座中、暗冒口中、分型面上的出气孔。

分型面和芯座的高出部分要修平。

2）清芯。清扫型芯表面上的浮砂、浮土，芯头处出气孔要畅通，严禁堵塞。

3）在下型的芯座中绕出气孔放一圈泥条或石棉绳，以防压崩及防钻芯。

4）依次下芯并微调。按工艺图规定的次序，依次将合格型芯落入下型各自的芯座上，并微调位置，用量具检测壁厚均匀程度，使其符合工艺图中壁厚的要求。

5）需要芯撑支承的型芯，先测出型芯与型壁的实际距离，以此决定芯撑高度。放芯撑时，芯撑平面应与型腔壁随形。若有间隙应用芯撑垫片塞紧，芯撑垫片应塞在型芯的一边，使芯撑安放稳固不松动。要求压力试验区内的芯撑必要时应采用特制芯撑。

6）需要在上型型腔中的吊芯，则上型平放，在芯座中绕出气孔一圈放泥条或石棉绳。

大中型型芯用螺栓钩，小型芯用铁丝，一头连接型芯芯骨，一头经上型芯座上的孔穿透上型，将型芯稳妥放入。检查壁厚均匀后用石棉绳将芯头处间隙填实并刷涂料（烘干），再用螺栓或铁丝拉住紧固在上箱箱带上。

在上箱的下面工作时，一定注意安全。先将箱四角架稳、架牢，以防滑脱产生人身事故。

7）需要安放内冷铁时，内冷铁质量必须符合工艺要求。按规定控制其高度和与型壁之间的距离。

8）安放大气压型芯。直径大于 30mm 的暗冒口，应下大气压型芯，并安放牢固，以免翻箱和浇注中掉出。

9）所有应在型腔内装配的项目完成并且各装配间隙填实修平、烘干后，仔细用皮老虎或压缩空气管将型腔内各角落的散砂吹吸干净。

10）沿分型面型腔和浇口杯周围、芯头处绕一圈石棉绳或泥条。芯头出气孔处放入稻草或绳子，绳子另一头引出型外。准备合型。

3. 合型

1）用桥式起重机翻转上型，并检查上型有无局部裂纹或脱落。轻轻敲击箱壁使浮砂去掉，并调整上型呈水平。

2）在直浇道上端修筑一个高出箱带的平面，修光喇叭口，刷涂料，绕直浇道放上一圈泥条，将准备好的浇口圈（浇口杯）对准压紧坐在直浇道上。在浇口圈周围围上型砂，以防浇注时浇口圈抬起。清除上型上散砂。

3）将上型吊至下型上方并缓慢平稳地（避免振动）按原来定位标记合在下型上。

4）验型，即再打开上型。目的是：①检查直浇道是否对准下型中的横浇道；②合型后型芯是否压牢，型腔有无压坏；③放入软泥团后，上型厚度是否符合要求；④若需要在上型放芯撑，则按泥团厚度决定芯撑高度。若有损坏或壁厚不合要求处，应修整、调整。此操作对大件复杂件更为必要。

5）终合型。验型合格后，若无误，进行最后合型。抽出连接芯头出气孔的稻草或绳子，留下排气道。

在砂型四角填塞适当厚度铁片，以免紧型时压坏砂型。检查合型缝是否合严。为防跑火一般要求用烂砂泥糊型缝，但不要将排气道堵死。

6）用铁皮或其他板盖好浇冒口，以防杂物落入。

4. 紧固砂型

1）小件用压铁，按铸件重量的 3～5 倍压重计。大、中件用原来砂型紧固设计方法夹紧。

2）合型后，不宜放置过久。中、小型不超过 24h，大型不超过 48h。放置过久，须重新开型烘干，才能浇注，确保铸件质量。

第 6 章　铸 型 浇 注

浇注是将符合技术要求的金属液从浇包注入铸型的操作。这是铸造生产中的一个重要环节。

6.1　铸钢件的浇注

6.1.1　盛钢桶的种类和型号

1. 盛钢桶的种类

盛钢桶又称钢包。按其结构有三种：倾注式、茶壶式、底注式（又分塞杆式、滑动水口式），如图 6-1 和表 6-1 所示。

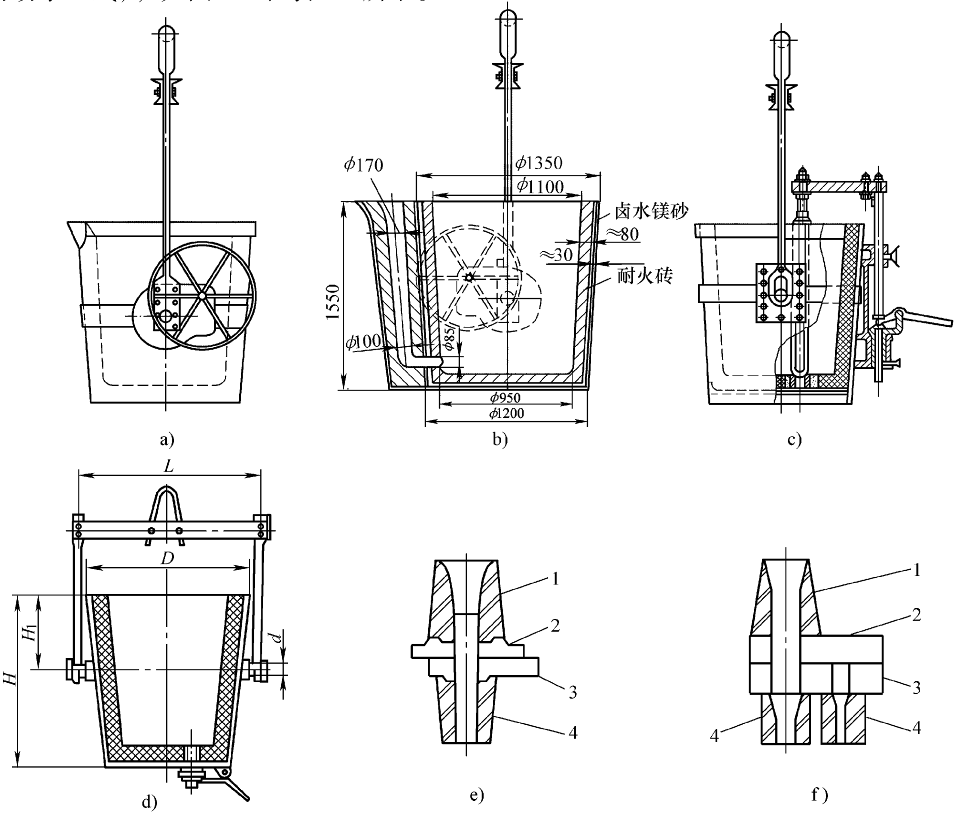


图 6-1　盛钢桶的种类及结构形式

a）倾转式　b）茶壶式　c）塞杆式　d）滑动水口式　e）推拉式滑动水口　f）旋转式滑动水口

1—上铸口　2—上滑板　3—下滑板　4—下铸口

表 6-1　盛钢桶的种类及特点（对照图 6-1）

盛钢桶的种类		特　　点
倾注式	倾转式	结构简单，维修简便，但浇注时钢渣容易随钢液流出，因此铸钢生产中用得较少
	茶壶式	容量小，一般配合小型电弧炉或感应熔炼炉的浇注用
底注式	塞杆式	容量适应范围较广，能与各种容量电弧炉相配套，铸钢生产中广泛应用
	滑动水口式	

2. 盛钢桶的型号及主要参数（见表 6-2）

表 6-2　盛钢桶的型号及主要参数

序号	型号	主　要　参　数							
		正常钢液装入量 /t	有效容积 /m^3	正常钢渣装入量 /t	自重（钢结构）/t	衬砖重 /t	总重 /t	盛钢桶高度 /mm	盛钢桶上口外径 /mm
1	LG-310-1	310	46.3	7.0	40.33	36.264	393.6	5120	4516
2	LG-275-1	275	41.2	6.68	32.785	36.0	350.5	5005	4280
3	LG-205-1	205	30.2	3.18	27.955	30.0	266.0	4665	3582
4	LG-175-1	175	20.23	2.56	20.085	21.3	179.0	3923	3450
5	LG-105-1	105	16.09	3.53	14.287	13.4	136.27	3725	3124
6	LG-90-1	90	13.44	4.04	13.25	12.92	120.21	3260	3115
7	LG-60-1	60	9.0	2.1	7.82	8.88	78.8	3075	2657
8	LG-45-1	45	7.2	1.68	7.363	7.1	61.143	2600	2485
9	LG-35-1	35	5.6	2.1	9.115	5.77	51.98	2660	2298
10	LG-25-1	25	4.0	1.5	8.274	4.489	39.263	2390	2110
11	LG-20-1	20	3.2	1.2	5.579	3.735	30.514	2150	1985
12	LG-15-1	15	2.4	0.9	3.839	3.184	22.923	1950	1855
13	LG-10-1	10	1.6	0.6	2.471	2.274	15.347	1750	1629
14	LG-6-1	6	0.97	0.399	1.512	1.286	9.200	1400	1408
15	LG-3-1	3	0.498	0.238	1.197	0.792	4.958	1188	1132

6.1.2　盛钢桶的清洁与烘烤

盛钢桶使用之前，应进行清洁和充分烘烤。盛钢桶的清洁与烘烤要求见表 6-3。

表 6-3　盛钢桶的清洁与烘烤要求

盛钢桶的清洁	在安装铸口、塞棒前，应清理盛钢桶内的残钢、残渣；盛钢桶应清洁，以避免外来夹杂物带入钢液

（续）

烘烤方式（燃料）	①可用焦炭炉、木炭；②燃油可用重油、柴油喷嘴；③燃气可用焦炉煤气、天然气喷嘴；④热废气	
烘烤时间/h	新砌的盛钢桶	≥24
	只更换工作层耐火砖的盛钢桶	≥16
	只是小修补和更换塞杆及注口砖的正常使用的盛钢桶	2～3.5（即在电炉炼钢送电的同时开始烘烤，直至钢液出炉为止）
	塞杆	在安装前，要先在烘炉内用小火烘干、烘透
烘烤温度	在出钢前，要求将盛钢桶内衬烘烤到600℃以上（呈红色或暗红色）。考虑到塞杆长时间温度过高可能导致塞头粘结掉皮，铸口打不开，可适当降低温度要求	
火力调整原则	在烘烤过程中，应随时注意调整火力，原则是火力由小逐渐增大，要防止急火将耐火砖衬烤裂	

6.1.3 钢液的镇静

钢液在盛钢桶中的镇静见表6-4。

表6-4 钢液在盛钢桶中的镇静

镇静目的	出炉的钢液，在盛钢桶中应镇静一段时间，使悬浮在钢液中的夹杂物上浮，净化钢液；也利于钢液温度、成分的均匀	
镇静时间/min	一般情况	≥5
	特殊情况（出钢温度过高）	≤20
出钢温度过高时的安全事项	1）当出钢温度过高时，可根据现场实际情况，延长镇静时间，以使浇注温度合适 2）镇静时间过长（超过20min后），将会出现以下事故： ①铸口处的钢液容易凝固，造成铸口打不开事故 ②塞头掉皮，铸口打不开，用氧气烧开后铸口不能关闭 ③熔渣蚀断塞棒 ④熔渣结壳，卡住塞棒，不能开启铸口	

6.1.4 浇注温度

控制浇注温度首先是严格控制钢液的出钢温度，一定要使出钢温度符合所熔炼钢种及该铸件工艺规定的温度。一般，出钢温度稍偏高，可通过镇静时间长短适当调节。但出钢温度偏低，就无任何调节余地了。对碳钢而言，“低温快浇”是解决浇注温度低的重要措施。

各类铸钢出钢温度、浇注温度可参见表6-5。

表 6-5　各类铸钢件需要的出钢温度与浇注温度　　（单位:℃）

铸件类型			结构复杂薄壁小件	中等铸件	厚重大件	浇注特点
壁厚/mm			20 ~ 30	50 ~ 150	150 ~ 500	
重量/kg			100 ~ 500	500 ~ 5000	25000	
碳结构铸钢	ZG230-450 ZG270-500	出钢	1490 ~ 1540	1480 ~ 1520	1470 ~ 1500	高碳钢铸件应注意点注补充，防止缩孔等缺陷
碳结构铸钢	ZG230-450 ZG270-500	浇注	1460 ~ 1500	1440 ~ 1470	1430 ~ 1450	高碳钢铸件应注意点注补充，防止缩孔等缺陷
碳结构铸钢	ZG310-570 ZG340-640	出钢	1480 ~ 1500	147 ~ 1490	1460 ~ 1480	高碳钢铸件应注意点注补充，防止缩孔等缺陷
碳结构铸钢	ZG310-570 ZG340-640	浇注	1450 ~ 1470	1440 ~ 1460	1420 ~ 1440	高碳钢铸件应注意点注补充，防止缩孔等缺陷
合金结构铸钢	ZG35CrMnSi ZG40Mn ZGCr50Mn2	出钢	1480 ~ 1510	1470 ~ 1500	1460 ~ 1480	浇注温度较碳钢低些，速度应快些，防止裂纹等缺陷
合金结构铸钢	ZG35CrMnSi ZG40Mn ZGCr50Mn2	浇注	1450 ~ 1480	1440 ~ 1460	1430 ~ 1440	浇注温度较碳钢低些，速度应快些，防止裂纹等缺陷
合金结构铸钢	ZG40Cr ZG35CrMo	出钢	1470 ~ 1500	1460 ~ 1490	1440 ~ 1470	浇注温度较碳钢低些，速度应快些，防止裂纹等缺陷
合金结构铸钢	ZG40Cr ZG35CrMo	浇注	1430 ~ 1460	1420 ~ 1450	1400 ~ 1440	浇注温度较碳钢低些，速度应快些，防止裂纹等缺陷
特殊性能铸钢	ZGMn13	出钢	1380 ~ 1400	1370 ~ 1390	1350 ~ 1360	浇温取低限，浇速比碳钢慢，一次点注满
特殊性能铸钢	ZGMn13	浇注	1340 ~ 1370	1330 ~ 1350	1310 ~ 1330	浇温取低限，浇速比碳钢慢，一次点注满
特殊性能铸钢	ZGCr17Mn13Mo2N	出钢	1420 ~ 1440	1380 ~ 1410	1360 ~ 1380	与高锰钢相似，但浇速应大流快浇，防止吸气，注意跑火
特殊性能铸钢	ZGCr17Mn13Mo2N	浇注	1380 ~ 1400	1350 ~ 1380	1330 ~ 1360	与高锰钢相似，但浇速应大流快浇，防止吸气，注意跑火
特殊性能铸钢	ZG12Cr18Ni9Ti	出钢	1500 ~ 1530	1490 ~ 1510	—	易氧化合金多，钢液粘滞，取较高温度下大流快浇，一次点注满
特殊性能铸钢	ZG12Cr18Ni9Ti	浇注	1470 ~ 1490	1460 ~ 1480	—	易氧化合金多，钢液粘滞，取较高温度下大流快浇，一次点注满
特殊性能铸钢	ZGCr28	出钢	1480 ~ 1510	1470 ~ 1490	1470 ~ 1490	铬氧化物多，浇温过高或过低都会造成各种缺陷
特殊性能铸钢	ZGCr28	浇注	1440 ~ 1470	1430 ~ 1450	1440 ~ 1450	铬氧化物多，浇温过高或过低都会造成各种缺陷
备注	1）以上温度均为光学高温计，未加校正值 2）各地区、各厂生产条件不同，温度均有差异 3）铬锰氮的出钢与浇注温度，有的认为与不锈钢无大差别，较高温度对除气、改善钢质有利					

6.1.5　浇注速度

根据不同情况采取合适的浇注速度，使钢液在型内连续、平稳、均匀地上升，并迅速充满型腔，是浇注操作的重要环节。

1. 小型铸钢件的浇注时间（见表 6-6）

表 6-6　小型铸钢件的浇注时间

铸件重量/kg	浇注时间/s	铸件重量/kg	浇注时间/s
<100	<10	500 ~ 1000	<60
100 ~ 300	<20	500 ~ 1000	<60
300 ~ 500	<30	>1000	全流浇注

2. 大、中型铸钢件的浇注速度（见表 6-7）

大、中型铸钢件的浇注速度，用钢液在型腔内的上升速度来表示。合适的上升速度能使钢液均匀、迅速、平衡地充满型腔，以获得质量良好的铸钢件。

表 6-7 大、中型铸钢件的上升速度

铸钢件毛重/kg	≤5000	>5000～15000		>15000～35000			>35000～55000			>55000～160000		
结构特点	—	复杂	简单	薄壁	一般	实体	薄壁	一般	实体	复杂	一般	实体
上升速度/(mm/s)	≥25	≥20	≥15	≥18	≥15	≥10	≥15	≥12	≥8	≥12	≥10	≥6

3. 全流浇注时钢液的平均流速

各种规格盛钢桶在浇注操作中将注口开启最大（即全流浇注）时，能提供所需要的平均浇注速度见表 6-8。

表 6-8 盛钢桶全流浇注时的钢液平均流速

铸口直径/mm	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110
	钢液的平均流速/(kg/s)										
6t 盛钢桶	20	26	30	34	40	60	—	—	—	—	—
10t 盛钢桶	20	29	37	46	55	66	90	120	—	—	—
60t 盛钢桶	—	—	—	—	—	95	128	167	210	260	320
90t 盛钢桶	—	—	—	—	—	96	130	170	216	267	323

4. 浇速的控制原则（见表 6-9）

表 6-9 铸钢件浇注速度控制原则

序号	铸 件 特 点	控 制 原 则
1	对壁厚、结构简单的铸件	取较小的浇注速度
2	含碳量较低，小型复杂的薄壁铸件	取较大的浇注速度
3	碳的质量分数大于 0.45% 的铸件，缩孔倾向大	1）取较小的浇注速度 2）冒口补浇（即点冒口）1～3 次
4	高合金钢（高锰钢除外）	1）取大流量快速浇注 2）冒口部分一次注满，钢液进入冒口后，流速相对减小
5	高锰钢铸件（流动性好，导热性差，裂纹缩孔倾向大）	1）取比普通碳钢慢些的浇注速度，以减小裂纹及缩孔倾向 2）当钢液温度接近液相线温度浇注时，则采用较大的浇速
6	单个大型铸件，重量大，形状长	采用双桶或多桶同时浇注，钢液从多个浇口引入型腔

6.1.6　氩气保护浇注

铸钢的氩气保护浇注见表 6-10。

表 6-10　铸钢的氩气保护浇注

适用钢种	适用于重要的高合金钢铸件（如不锈钢铸件、高锰钢铸件）和特殊铸钢件的浇注保护
目的	氩气保护浇注就是对注流和进入型腔的钢液进行隔绝空气浇注，目的是避免浇注时钢液二次氧化和吸气，以减少钢中氧化夹杂物和气体含量
操作方法	1）在浇注前，向型腔中缓慢充入氩气，置换出型腔中的空气，避免浇注时注入型腔的钢液与空气接触 2）在铸型浇口上，围绕浇口安放一密布气孔（方向向上）的环管，当浇注时，向管内通入氩气（压力≥0.3MPa），氩气从细孔中喷出，围绕注流形成一道氩气保护屏障，从而隔绝注流与大气的接触 这样的操作方法，能达到很好的保护浇注的目的

6.1.7　铸钢件浇注操作要点

1. 中、小型铸钢件的浇注要点（见表 6-11）

表 6-11　中、小型铸钢件的浇注要点

序号	浇注条件	浇　注　要　点
1	用一桶钢液浇多个铸型时	应按铸钢件的重量、壁厚及结构复杂程度，将铸型排列成一定的顺序；先浇小件、薄壁件及结构复杂的铸钢件，后浇大件、厚壁件及结构简单的铸钢件
2	在浇注一个铸型时	浇注开始小流，后逐渐增大，待钢液上升至冒口时，先缓一下注流，然后增大注流继续浇注，直至上升到冒口内的规定高度，全过程不断流
3	在浇完一个铸型时	1）及时往冒口内加保温剂（如草灰、稻草壳等）或发热剂 2）用高温钢液及时点浇（补浇）冒口
4	浇注中铸型跑火时	一方面采取措施堵住，另一方面细流慢浇，不可断流，以防冷隔

2. 重型铸钢件的浇注要点

1）浇注前，必须检查待浇铸型周围的环境情况。

①地坑造型铸型的分型面不应高出地坑上平面，若高出地坑平面，必须采取补救措施（例如，挡压铁后填背砂并舂实、吹硬），以防浇注时跑火。

②地坑件（包括水泥坑件）任何一侧或多侧，浇注前不得挖坑，且四周的地坑平面应高于待浇铸型的分型面，否则，必须采取补救措施（例如，将坑填砂后舂实，再压上足够重的压铁，以防浇注时跑火）。

③相邻的两地坑件（包括水泥坑件），在待浇件浇注前，已浇件不得拔出地坑，以免破坏待浇件铸型，或浇注时跑火。

④待浇件附近地面积水，铸型进水时，不得浇注，以免发生安全质量事故。

2）浇注前半小时，再抽一次型腔、浇道内的浮砂，并检查压铁是否背好，浇口杯是否符合要求，以及需要预热型腔的预热情况等。

3）浇注时应有专人指挥，指挥人员在浇注前要了解本炉的材质、铸件的毛重、浇注钢液量、冒口浇注高度、铸型数量和压铁重量及分布情况等。特大件及重要件浇注前应经过讨论，确定浇注方案，浇注时，由专人按决议指挥浇注。安全员必须在现场监护，并严格控制浇注场地的人数。

4）视现场的砂型位置、直浇道情况和盛钢桶大小，搭出合适的浇注台，浇注台高度超过1.5m时，要有上下梯子，并保证道路畅通，如遇紧急情况，浇注工能迅速离开现场，确保安全生产。

5）浇注人员应准备铁锹2～3把，准备足够量的背砂、覆盖剂等，并穿戴好劳动保护用品。

6）盛钢桶铸口直径，按同炉浇注的最大件的要求确定。浇注顺序原则：重量大的件先浇，重量小的件后浇；双直浇道的铸型先浇，单直浇道的铸型后浇。先浇注，后补浇；并根据浇注铸型数量的多少，大件冒口可适当欠浇的高度为50mm左右，浇完其他铸型后，有剩余钢液再将欠浇的冒口补浇到工艺要求的高度；若无剩余钢液，欠浇的冒口覆盖剂的加入量应增加一倍。

7）浇注前，需测量钢液温度，浇注温度按工艺规定的浇注温度执行。

8）浇注开始时缓慢浇注，随后全速浇注，钢液上升到明冒口后减速浇注，并立即加入覆盖剂。放暗冒口的铸件、高锰钢铸件，浇满铸型后，在浇口上再点浇1～3次，浇注完后，再加1～2次保温覆盖剂，并保证冒口不露红。

9）开始浇注时要立即引气。

10）浇注结束后，在砂箱上（或盖芯上）写明浇注时间和保温时间。

11）重量>500kg的合金钢铸件、试制件或关键件，在冒口内插上炉号。每炉钢液都要浇注试棒。

12）为保证浇注过程中不出现铸件欠浇的质量事故，满足下列条件之一者，都要用钢钎探测盛钢桶中剩余钢液量。

①每包钢液浇注铸件数量≥3箱时，第3箱浇注前应探测。

②每包钢液浇注铸件数量≥2箱时，若钢液浇出量>80%再浇时，要进行探测。

13）一包钢液浇注多箱铸件时，为保证后浇的铸件全流浇注，浇注工必须准备烧氧工具，需要时及时吹烧浇注口。

14）多炉（多个盛钢桶）合浇大型铸钢件时，要协调好各台炉子的出钢顺序、桥式起重机的分布、盛钢桶的位置、浇注顺序等，一般要求开浇时各铸口能同时打开进行浇注。当需要钢液补浇冒口时，补浇冒口钢液的浇注温度，应比合浇钢液的浇注温度高30～50℃。

15）浇注时应有专人监控，防止炉渣进入型腔。

16）浇注过程如发生从铸型中漏出钢液（跑火），一方面采取措施堵住，另一方面细流慢浇，切不可断流，以免铸钢件产生冷隔缺陷。

6.1.8　铸钢浇注安全技术

1）浇注前，应对盛钢桶进行检查，若保险卡子、塞杆卡头等有故障，内衬烧损超过规定厚度及塞头砖与注口砖吻合不良时，应停止使用。

2）应对浇注场地仔细检查和清理，各种工具、吊具、废钢、冶金辅具、钢链、垃圾不准任意堆放和堵塞通道，否则应及时运走，或放到指定位置。

3）使用的各种工具，必须干燥。潮湿的工具不准使用，未经烤干的盛钢桶、中注管、塞杆等不准使用，浇注前把盛钢桶上的残渣清理干净。

4）检查盛钢桶时，必须使用36V的手提电灯，当盛钢桶已吊入出钢槽下后，再不准进入包内工作。

5）进行塞杆的装配、校直塞杆、浇完钢液打座盆砖和修理新包时，应注意安全操作。

6）使用桥式起重机吊物时，要遵守安全操作规程。吊运冒口、铸件及盛钢桶时，必须挂稳、挂牢；吊物起动后，人必须在远离吊物危险区外指挥；大型物件及满载的盛钢桶吊运时，必须前后各设一人监护，并有一人指挥，严禁他人接近或在附近停留、通过；所用吊具，按允许负荷使用，定期检查；使用前须仔细检查，防止断裂事故发生。

7）当浇注坑内有人时，禁止桥式起重机吊着物件在地坑上面通过。

8）盛钢桶在使用前，必须把盛钢桶内壁烤红。

9）禁止在烘炉周围取暖和休息，以防煤气中毒。

10）电炉炉料化开后，不准任何人在出钢槽下操作，以防钢液冲开出钢口造成烫伤。

11）出钢时应注意，不准让钢液冲击塞杆和包壁，钢液不得装得过满（不超过盛钢桶深度的7/8），一切人员禁止站在盛钢桶附近，或出钢槽对面，以免发生事故。

12）出钢后，如遇盛钢桶上部往外流渣时，不得进行浇注，待处理稳妥、停止外流后再浇注。

13）浇注时，与浇注无关的人员，禁止站在正在浇注的场地附近；盛钢桶未对准浇口或中注管口时，不得开启塞杆，要听从浇注专人指挥；如遇跑火，要采取堵塞措施，可用造型面砂、干砂堵塞，禁止用稀泥和水分多的砂子，以防爆炸。

14）浇注过程中，当塞杆关不住或关不严、钢液飞溅时，必须有一人正确指挥桥式起重机，其余人员应迅速避开危险区。

15）倾倒钢渣时，应倒在指定地点或干燥的渣罐内。此时，所有人员都应远离渣罐区域。炉下正在放渣或渣罐盛满熔渣时，禁止任何人在渣罐旁站立或行走。

16）在氧气管道（瓶）上接上橡胶管，再接上钢管作为烧嘴，可用来烧割盛钢桶水口用的钢管，长度不得小于2.5m。氧气瓶应在远离盛钢桶或浇注地点1～2m以外的地方存放，使用的胶皮管、钢管不准漏气，必须连接好；严禁用带油的手和物件接触氧气瓶嘴，氧气瓶不准用桥式起重机吊运。

17）往电动平车上放置渣罐、盛钢桶等物件时，要放平、放稳、牢固。

18）渣罐要保持干燥；渣罐内装有4/5炉渣时，需要换空渣罐；吊运渣罐时必须用专用吊具。

6.2 铸铁件的浇注

6.2.1 浇包种类和规格

1. 铸铁浇包种类和应用（见图6-2、表6-12）

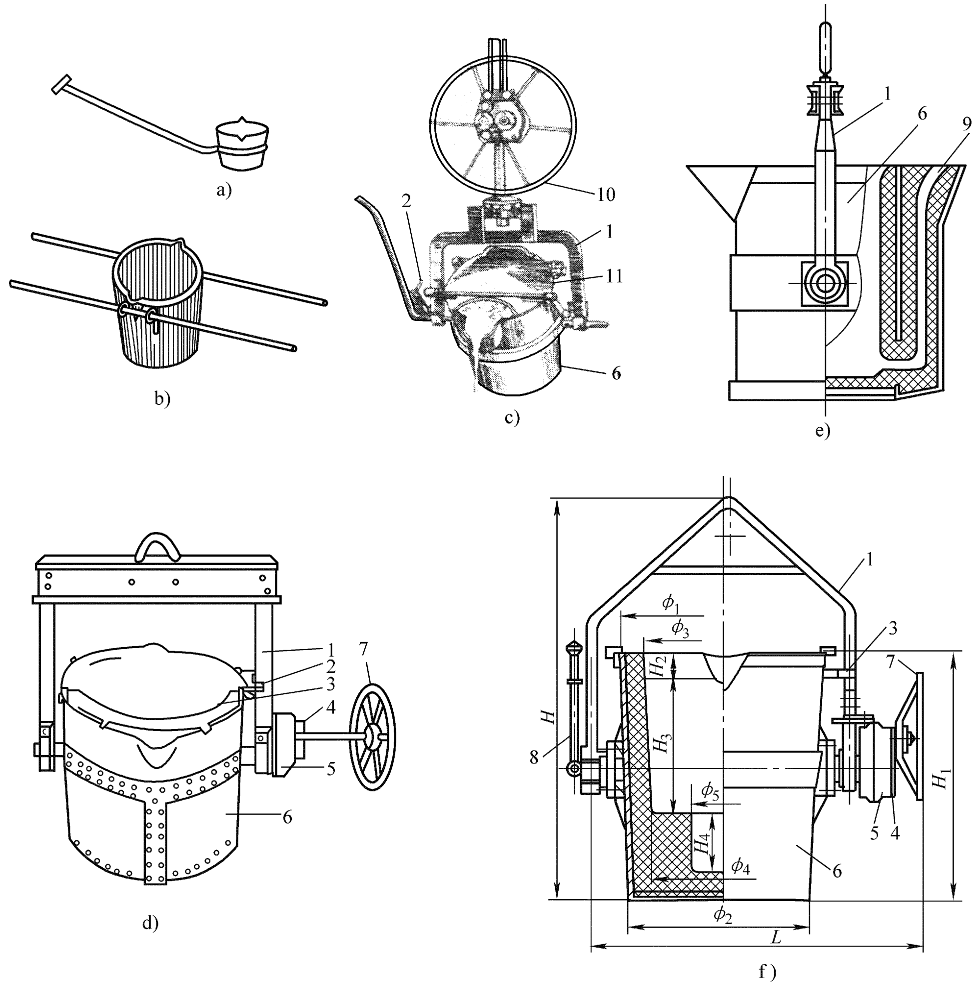


图6-2 铸铁用浇包

a）握包 b）抬包 c）单轨吊包 d）桥式起重机吊包 e）茶壶式包

f）球墨铸铁浇包（尺寸见表6-14）

1—吊架 2—安全卡 3—挡渣板 4—剩余铁液指标装置 5—自锁蜗轮减速器

6—包体 7—手轮 8—稳包把手 9—茶壶嘴 10—齿条升降机构 11—护盖

表 6-12　铸铁浇包的应用

<table>
<tr><th colspan="3">浇包的形式</th><th>容量/kg</th><th>特　　点</th><th>适用范围</th></tr>
<tr><td rowspan="2">简易浇包</td><td colspan="2">握包</td><td>≤20</td><td>一个人手握包柄浇注</td><td>只适用于浇注小铸件</td></tr>
<tr><td colspan="2">抬包</td><td>50 ~ 150</td><td>两个人（或四人、六人）抬着包浇注</td><td>浇注中、小铸件</td></tr>
<tr><td rowspan="4">普通吊包</td><td rowspan="2">单轨吊包</td><td>手动升降浇包</td><td><200</td><td rowspan="2">借助行走机构和升降器可使浇包移动和上下升降到所需位置。包口有护盖</td><td rowspan="2">供造型生产线上浇注中小铸件</td></tr>
<tr><td>电动升降浇包</td><td>200 ~ 500</td></tr>
<tr><td rowspan="2">桥式起重机吊包</td><td>轻型浇包</td><td>500 ~ 2000</td><td rowspan="2">1）包上有专用的剩余铁液指示装置，可随时知道包内铁液重量
2）设有安全卡和自锁蜗轮，吊运安全</td><td rowspan="2">浇注中、大铸件</td></tr>
<tr><td>重型浇包</td><td>>3000</td></tr>
<tr><td colspan="3">茶壶式浇包</td><td>500 ~ 5000</td><td>包内靠近包嘴处筑有挡渣隔墙，便于挡渣</td><td>浇注重要的中大件</td></tr>
<tr><td colspan="3">球墨铸铁浇包</td><td>1000 ~ 2000</td><td>1）包内深度 H: 内径 $D = 1.5 \sim 1.8$
2）球化处理工艺简单</td><td>浇注球墨铸铁件</td></tr>
</table>

2. 浇包的规格

浇包一般为上大下小的锥桶形，最外层是钢板制成的包壳，内层是耐火材料砌成的包衬。锥桶形浇包的主要尺寸见表 6-13。

表 6-13　普通锥桶形浇包的主要尺寸

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2">浇包容量/kg</th><th colspan="3">包壳内部尺寸/mm</th><th colspan="2">包壳钢板厚度/mm</th><th colspan="2">包衬厚度/mm</th></tr>
<tr><th>上端直径</th><th>下端直径</th><th>高度</th><th>侧壁</th><th>包底</th><th>侧壁</th><th>包底</th></tr>
<tr><td>1</td><td>10</td><td>160</td><td>150</td><td>165</td><td rowspan="5">2 ~ 3</td><td rowspan="5">2 ~ 3</td><td rowspan="4">15</td><td rowspan="4">20</td></tr>
<tr><td>2</td><td>15</td><td>175</td><td>165</td><td>185</td></tr>
<tr><td>3</td><td>20</td><td>185</td><td>175</td><td>195</td></tr>
<tr><td>4</td><td>30</td><td>200</td><td>185</td><td>210</td></tr>
<tr><td>5</td><td>50</td><td>225</td><td>210</td><td>235</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">25</td></tr>
<tr><td>6</td><td>80</td><td>260</td><td>240</td><td>270</td><td rowspan="3">3 ~ 4</td><td rowspan="3">4 ~ 5</td></tr>
<tr><td>7</td><td>100</td><td>335</td><td>310</td><td>345</td><td rowspan="2">25</td><td rowspan="2">30</td></tr>
<tr><td>8</td><td>150</td><td>370</td><td>340</td><td>380</td></tr>
<tr><td>9</td><td>300</td><td>470</td><td>435</td><td>480</td><td rowspan="2">4 ~ 6</td><td rowspan="2">5 ~ 8</td><td rowspan="2">35</td><td rowspan="2">50</td></tr>
<tr><td>10</td><td>500</td><td>550</td><td>510</td><td>560</td></tr>
<tr><td>11</td><td>1t</td><td>690</td><td>640</td><td>710</td><td rowspan="2">5 ~ 8</td><td rowspan="2">6 ~ 10</td><td>40</td><td>60</td></tr>
<tr><td>12</td><td>2t</td><td>860</td><td>800</td><td>890</td><td>50</td><td>70</td></tr>
</table>

（续）

序号	浇包容量/kg	包壳内部尺寸/mm			包壳钢板厚度/mm		包衬厚度/mm	
		上端直径	下端直径	高度	侧壁	包底	侧壁	包底
13	3t	990	920	1030	6 ~ 10	8 ~ 12	60	80
14	5t	1160	1080	1210			70	90
15	10t	1550	1460	1600	10 ~ 16	12 ~ 20	120	150
16	15t	1710	1610	1770				
17	20t	1900	1780	2000	16 ~ 20	16 ~ 25	135	200
18	25t	2050	1900	2150				
19	30t	2150	2000	2300			150	250
20	35t	2250	2100	2450				

3. 球墨铸铁浇包的主要尺寸（见表6-14）

表6-14　球墨铸铁浇包的主要尺寸　　（单位：mm）

简图		对照图6-2f										
序号	容量/t	包内腔尺寸				凹坑尺寸		包壳外部尺寸			最大轮廓尺寸	
		ϕ_3	ϕ_4	H_2	H_3	ϕ_5	H_4	ϕ_1	ϕ_2	H_1	H	L
1	1	614	540	100	618	220	220	772	658	952	1634	1230
2	2	754.4	656	120	820	276	280	926	779	1200	1870	1330

6.2.2　修包与烤包

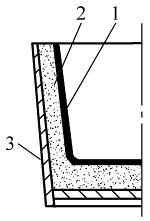
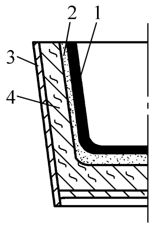
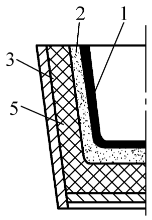
1. 修包材料（见表6-15）

表6-15　修包材料及组成（质量分数）　　（%）

序号	修包材料		粘土	耐火泥	耐火砖粉	焦炭粉	硅砂	型砂	黑石墨粉	水
1	硬材料	Ⅰ	10	20	35	—	35	—	—	适量
2		Ⅱ	40	—	—	—	60	—	—	
3		Ⅲ	10 ~ 20	—	—	10	20	60 ~ 50	—	
4	软材料	Ⅰ	20		—	45	—	35	—	适量
5		Ⅱ	20	—	—	80	—	—	—	
6		Ⅲ	10	—	—	90	—	—	—	
7	涂料		10	—	—	—	—	—	90	适量

2. 修包方法（见表 6-16）

表 6-16　修 包 方 法

浇包按容量分类/kg	<30	30 ~ 1000	>1000
包衬结构			
	1—涂料层　2—软材料　3—包壳　4—硬材料　5—耐火砖		
新包砌筑方法	1）在包壳内，搪好一层软材料 2）再在软材料的表面上，刷一层涂料	1）在包壳内，搪好一层硬材料（即挂一层老瓷） 2）晾干 3）再搪一层软材料 4）最后，刷一层涂料 硬材料较硬，不易脱落，起隔离金属液、保温和防止熔穿包壳的作用 软材料较松，易脱落，便于清理粘附在包衬表面上的残渣和金属	1）在包壳内，筑砌耐火砖 2）在耐火砖上搪一层软材料 3）最后，刷一层涂料
旧包修补方法	浇包在浇注中受高温金属液的冲刷力和化学作用会产生局部或较轻的损伤，应及时修衬，方法如下： 1）清除干净包内残渣和金属，在清铲时，不要垂直敲打包衬，以免振裂或损伤。不需修补处的光滑平整的薄渣层可不清除 2）在修补处，刷一层粘土浆→敷上耐火材料→敲打结实并修光 若用耐火砖修补，新修砌的耐火砖与原有的耐火砖一要贴合紧密，二要砖缝错开，三要砖缝小（≤2mm），四要用耐火泥浆把砖缝填满 3）要注重包嘴的修补质量，以保证流出的金属液不散流 4）最后，在包衬上刷一层涂料		

3. 烤包方法（见表 6-17）

表 6-17　浇包的烘烤方法

烘烤方法	中、小浇包	用专用烘包炉，或随砂型一起进烘干炉烘烤
	大型浇包	用以煤气或燃油为燃料的烘包器烘烤
操作方法		1）修好的包自然晾干 4 ~ 8h 2）加热初始应低温慢火，不宜加热过急 3）烘烤温度应达到 600℃左右（包衬呈红色） 4）检查烘烤质量。观察包壳上排气眼仍有水汽往外冒，说明未干，需要继续烘烤 5）包衬上有裂纹，须用衬料填平修光、烘干，以防金属液钻入熔穿包壳
浇包使用温度/℃		≥200

6.2.3 浇注温度

1. 灰铸铁件的出铁温度和浇注温度（见表 6-18）

表 6-18 灰铸铁件的出铁温度和浇注温度

铸铁件材质	主要壁厚/mm	出铁温度/℃	浇注温度/℃	产 品 案 例
HT100	所有尺寸	1370~1390	1320~1390	砂箱、底座、高炉平衡锤、炼钢炉、重锤
HT150	4~8 8~15 15~30 30~50 >50	1440 1440 1430 1420 1420	1370~1420 1350~1420 1330~1400 1310~1380 1250~1340	机床底座、刻度盘、车轮、汽车变速器、进排气管、鼓风机底座等
HT200	6~8 8~15 15~30 30~50 >50	1460 1450 1450 1430 1420	1380~1440 1360~1440 1340~1420 1320~1400 1260~1350	气缸、齿轮、机体、飞轮、一般机床铸有导轨的床身、中等压力的液压筒等
HT250	8~15 15~30 30~50 >50	1470 1460 1430 1420	1390~1450 1370~1440 1350~1430 1270~1360	液压缸、气缸、联轴节、工作台、箱体、横梁、镜床、锺床等
HT300	15~30 30~50 >50	1480 1470 1460	1400~1460 1380~1450 1280~1380	蜗轮、阀盖、主配间壳体、汽轮机、隔板等
H350	15~30 30~50 >50	1500 1490 1480	1420~1480 1400~1460 1300~1400	车床卡盘、剪床和压力机的床身、机床铸有导轨的重负荷床身、导板、液压泵

2. 球墨铸铁件的出铁温度和浇注温度（见表 6-19）

表 6-19 球墨铸铁件的出铁温度和浇注温度

材质	主要壁厚/mm	出铁温度/℃	浇注温度/℃	产 品 案 例
球墨铸铁	4~15	1480	1360~1440	轧机、曲轴、汽车后桥、齿轮、中低压阀门等
	15~30 30~50	1470	1350~1430	
	>50	1460	1340~1420	

3. 可锻铸铁件的出铁温度和浇注温度（见表6-20）

表6-20　可锻铸铁件的出铁温度和浇注温度

材质	主要壁厚/mm	出铁温度/℃	浇注温度/℃	产　品　案　例
可锻铸铁	<3	1460	1390～1450	拖拉机、汽车后桥、扳手、各种管接头、低压阀门等
	8～12	1450	1380～1440	
	>15	1440	1370～1430	

6.2.4　浇注速度

生产中常用浇注时间表示浇注速度。浇注时间一般指注满铸型型腔所用的时间。对一铸件而言，浇注时间长，意味着浇注速度慢，反之，意味着浇注速度快。适宜的浇注时间，应根据铸件重量、壁厚、结构、技术要求等综合考虑而定。

1. 铸铁件浇注速度的控制原则（见表6-21）

表6-21　铸铁件浇注速度的控制原则

浇注速度	对铸件质量的影响	原则要求
较高	可使金属液较快充满型腔。能防止浇不足，减少金属液氧化，减少铸件各部的温度差，从而避免产生裂纹	1）薄壁、形状复杂或具有大水平面的铸件，要采取快速浇注 2）厚实、形状简单的铸件，宜采取慢速浇注
过高	对型腔冲刷力增大，易产生冲砂	
较低	能增大铸件各部温度差。顶注时能使铸件的缩孔集中，利于补缩	
过低	使型腔受热烘烤时间长。易使砂型翘起脱落，易产生裂纹、冷隔、夹渣等	

2. 灰铸铁件的浇注时间（见表6-22）

表6-22　灰铸铁件的浇注时间

铸件重量/kg	5～6	10～50	50～100	100～250	250～500	500～1000	1000～5000
浇注时间/s	3～4	4～9	9～12	12～20	20～28	28～40	40～85

6.2.5　铸铁浇注技术要点

冲天炉前期熔化的铁液化学性能不稳定，温度偏低，适合浇注质量要求不高的厚壁铸件；中期熔化的铁液温度和化学性能稳定，适合浇注复杂、薄壁、大型、质量要求高的铸件；后期熔化的铁液供应量不够稳定，适合浇注小型铸件。铸铁的浇注技术要点见表6-23。

表6-23　铸铁的浇注技术要点

项目	技术要点	方　　法
浇注准备	一掌握、四检查	掌握所浇砂型的摆放位置、铸件名称、牌号、重量及浇注顺序 一查砂型　箱卡或螺栓是否上紧；压铁量是否足够，且安放位置是否影响浇注操作；浇口杯或浇口圈是否放置稳当，以免浇注时抬型跑火

（续）

项目	技术要点	方法
浇注准备	一掌握、四检查	二查浇包　是否烘干、是否预热；包衬是否完整；数量是否足够、吊包的操作机构是否灵活可靠 三查保温材料及用具　保温、聚渣、引火材料是否准备好，阻止跑火所需材料与用具是否到位，以使紧张的浇注操作忙而不乱，有序进行 四查场地　浇注场地地面不许有积水，浇注通道必须畅通
浇注技术	1. 扒渣	1）金属液出炉后，从包嘴的后面或侧面将液面上的熔渣扒除干净，并覆盖保温聚渣材料。不要碰坏包嘴上的涂料层，影响浇注 2）浇注前，需再次除去液面上的熔渣，以免浇入铸型造成夹渣
	2. 浇注	1）掌握好浇注顺序。一包铁液浇注多个砂型时，一般先浇薄壁复杂件和大件，后浇中、小件和厚壁简单件。熔化初期的铁液温度低，含硫高，一般只浇注芯骨和不重要的铸铁件 2）浇注时，应将包嘴靠近浇口杯，挡渣棒放在包嘴附近的液面上，防止浇包中熔渣随液流浇入浇口杯 3）浇速：浇注开始缓慢给流，防止飞溅、氧化；随后全速浇注，保持浇口杯充满，不得中断，以免偶尔流入浇口杯中的熔渣进入砂型。当砂型将要浇满时，适当降低浇速。减小抬型力，防止抬型，便于气体排出，避免铁液从冒口大量溢出 4）有明冒口的时候，在注满后，稍停片刻，再点冒口。浇注结束，向冒口顶面加覆盖保温剂，提高冒口补缩能力
	3. 引火	浇注开始后，立即将出气孔、冒口、芯头处逸出的气体点燃，以利型腔中的气体和砂型（芯）中产生的气体快速排出
	4. 去压铁	1）浇注后，应按规定时间去除压铁，让铸件自由收缩。中小型砂箱内的铸件浇注后5～20min内可去除压重或松开箱卡。大件，按工艺规定解除砂箱紧固装置 2）去压铁太早，易引起抬型跑火。去的太晚，会增加铸件凝固冷却中的内应力，产生裂纹
浇注安全	1. 穿戴保护用品	浇注工应按规定穿戴好劳动保护用品。非浇注人员在浇注时不得靠近
	2. 场地干燥畅通	浇注场地要干燥，不应有易燃易爆品，浇注通道要畅通
	3. 浇包吊具可靠	浇包要烘干，操作机构要灵活并可靠。两人抬包浇注时，抬起和放下的动作要一致。桥式起重机浇注时，吊钩、钢丝绳或链条不得有裂纹和损伤，运送铁液时不得装得过满，液面应低于包口100mm，桥式起重机移动必须鸣铃，不得从现场人员上面经过
	4. 工具要干燥	挡渣，不得用生锈、潮湿、未预热的冷铁棒插入铁液内，以免引起金属液飞溅。挡渣工不要站在包嘴的正面

（续）

项目	技术要点	方　　法
浇注安全	5. 浇注台要牢靠	浇注高大铸件的砂型时，浇注台要架设牢靠、方便，以保安全。浇注中不得用眼睛正对冒口观察
	6. 剩余铁液处理	剩余铁液倾倒砂坑后，干砂覆盖时不要全部盖严，应露出局部液面以警示，防误踏

6.3　非铁合金的浇注

6.3.1　铸造铝合金浇注工艺

铸造铝合金浇注工艺参数见表6-24。

表6-24　铸造铝合金浇注工艺参数

合金代号	坩埚底部金属剩余量	保温浇注时间/h	总熔化时间/h	浇注温度/℃	备注
ZL101、ZL102 ZL104、ZL105	150～200mm	2～3	4～6	680～760	—
ZL201	金属总重量的15%～20%	1～2	4～6	700～750	—
ZL203	150～200mm	2～3	4～6	700～760	
ZL205A	150～200mm	1～2	4～6	700～750	
ZL301、ZL303	金属总重量的15%～20%	2～3	4～6	680～740	用有挡板的浇包浇注
ZL401	150～200mm	2～3	4～6	700～780	

注：总熔化时间，砂型铸造不宜超过4h，金属铸造不宜超过6h，压力铸造最长也不应超过8h。

6.3.2　铸造铜合金浇注温度

1. 纯铜和青铜的浇注温度（见表6-25）

表6-25　纯铜和青铜的浇注温度

类别	序号	牌　　号	熔化温度/℃	浇注温度/℃	
				壁厚<30mm	壁厚≥30mm
纯铜	1	纯铜	1230～1280	1200～1300	1150～1200
锡青铜	2	ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	1200～1250	1150～1200	1100～1150
	3	ZCuSn3Zn11Pb4	1200～1250	1150～1200	1100～1150
	4	ZCuSn5Pb5Zn5	1200～1250	1150～1200	1100～1150
	5	ZCuSn6Zn6Pb3	1200～1250	1150～1200	1100～1150

（续）

类别	序号	牌　　号	熔化温度/℃	浇注温度/℃	
				壁厚＜30mm	壁厚≥30mm
锡青铜	6	ZCuSn8Zn4	1200～1250	1150～1200	1100～1150
	7	ZCuSn10Pb1	1150～1200	1040～1090	980～1040
	8	ZCuSn10Zn2	1200～1250	1150～1200	1100～1150
	9	ZCuSn10Pb5	1150～1200	1140～1200	1120～1150
铝青铜	10	ZCuAl7Mn13Zn4Fe3Sn1	1180～1220	1060～1100	1020～1060
	11	ZCuAl8Mn13Fe3	1180～1220	1100～1150	1040～1080
	12	ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	1200～1250	1060～1100	1020～1060
	13	ZCuAl9Mn2	1200～1250	1140～1180	1120～1150
	14	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	1230～1300	1200～1250	1160～1200
	15	ZCuAl10Fe3Mn2	1200～1250	1140～1200	1110～1150
	16	ZCuAl10Fe3	1200～1250	1140～1200	1110～1150
	17	ZCuAl10Fe4Ni4	1250～1300	1180～1230	1160～1200
	18	ZCuAl10Fe4Mn3Pb2	1200～1250	1120～1180	1100～1150
	19	ZCuAl11Fe7Ni6Cr1	1250～1300	1200～1250	1150～1200
铍青铜	20	ZCuBe0.5Co2.5	1240～1300	1170～1200	1120～1150
	21	ZCuBe0.5Ni1.5	1240～1300	1170～1200	1140～1170
	22	ZCuBe2Co0.5Si0.25	1200～1250	1060～1120	1010～1050
	23	ZCuBe2.4Co0.5	1200～1250	1040～1090	1010～1050
	24	ZCuBe2Co1	1200～1250	1050～1100	1010～1030
	25	ZCuBe0.4Ni1.5Ti0.5	1200～1250	1060～1120	1010～1030
	26	ZCuBe1Al8Fe1Co1	1200～1250	1100～1150	1080～1120
硅青铜	27	ZCuSi3Mn1	1180～1220	1120～1150	1080～1120
	28	ZCuSi3Pb6Mn1	1160～1220	1100～1120	1050～1100
	29	ZCuSi0.5Ni1Mg0.02	1250～1300	1180～1220	1150～1200
铬青铜	30	ZCuCr1	1300～1350	1230～1260	1200～1230
锰青铜	31	ZCuMn5	1250～1300	1130～1170	1100～1140

2. 黄铜和白铜的浇注温度（见表 6-26）

表 6-26　黄铜和白铜的浇注温度

类别	序号	牌　　号	熔化温度/℃	浇注温度/℃	
				壁厚＜30mm	壁厚≥30mm
黄铜	1	ZCuZn16Si4	1100～1150	1040～1080	980～1040
	2	ZCuZn24A15Fe2Mn2	1100～1160	1040～1080	1000～1060

（续）

类别	序号	牌　　号	熔化温度/℃	浇注温度/℃	
				壁厚＜30mm	壁厚≥30mm
黄铜	3	ZCuZn25Al6Fe3Mn3	1100～1160	1030～1080	980～1040
	4	ZCuZn26Al4Fe3Mn3	1100～1160	1030～1080	980～1040
	5	ZCuZn31A12	1120～1180	1080～1120	1000～1080
	6	ZCuZn33Pb2	1120～1160	1050～1120	1010～1060
	7	ZCuZn35A12Mn2Fe1	1100～1150	1030～1080	960～1020
	8	ZCuZn38	1120～1180	1060～1100	980～1060
	9	ZCuZn38Mn2Pb2	1100～1150	1020～1060	980～1040
	10	ZCuZn40Pb2	1100～1150	1030～1060	980～1040
	11	ZCuZn40Mn2	1100～1150	1020～1060	980～1040
	12	ZCuZn40Mn3Fe1	1100～1160	1020～1060	980～1040
白铜	13	ZCuNi10Fe1	1350～1400	1280～1320	1230～1280
	14	ZCuNi15Al11Fe1	1300～1350	1220～1280	1200～1250
	15	ZCuNi20Sn4Zn5Pb4	1350～1440	1260～1320	1220～1280
	16	ZCuNi25Sn5Zn2Pb2	1380～1430	1300～1360	1260～1320
	17	ZCuNi30Nb1Fe1	1420～1480	1350～1400	1290～1350
	18	ZCuNi30Be1.2	1320～1380	1220～1300	1200～1280
	19	ZCuNi30Cr2Fe1Mn1	1380～1430	1300～1350	1250～1300

6.3.3 铸造锌合金浇注温度

铸造锌合金的浇注温度见表6-27。

表6-27 铸造锌合金的浇注温度

合金代号	ZA4-1	ZA4-3	ZA8-1	ZA9-2	ZA11-5	ZA11-1	ZA27-2
浇注温度/℃	400～430	410～440	425～480	430～485	415～470	450～530	510～590

6.3.4 铸造镁合金的浇注工艺

1. 用浇包舀取镁合金金属液的浇注工艺（见表6-28）

表6-28 用浇包舀取金属液的浇注工艺

序号	工序	浇 注 操 作 方 法	备　　注
1	测量合金液的温度	用带套管的热电偶，在熔剂坩埚内洗涤后，测量合金液的温度	如不符合浇注温度的要求，需进行调整
2	洗涤浇包	将浇包在熔剂坩埚内洗涤成亮红色，取出后滴净熔剂	

（续）

序号	工序	浇注操作方法	备注
3	舀取合金液	1）用浇包底推开合金液表面上的熔剂层，用宽口平稳地舀取合金液 2）从浇包嘴沿坩埚壁倒回少许合金液 3）舀取合金液后，坩埚和浇包的液面如有燃烧处，应撒以硫磺+硼酸混合物	1）勿使熔剂进入浇包 2）应尽量减少连续舀取的次数
4	浇注铸型	1）浇注前，先从浇包嘴倒出少许合金液至预热过的备用铸模内 2）浇注铸型 3）浇注时，保持液流平稳，不可中断，浇口应保持充满状态 4）浇注过程中，应不断地向液流表面和浇口杯内撒硫磺+硼酸混合物 5）浇注后，浇包内应剩余容量为10%合金液，将其浇入锭模 6）如浇注过程超过1h，应重新检查断口 7）每浇一个铸型，均需从工序2）做起	浇注时，浇包嘴应尽量靠近浇口杯，不允许从浇包的宽口反浇铸型 如断口不合格，ZM5和ZM10需要重新进行变质处理，其他合金则进行再次加锆处理

注：1. 一包浇注两个或两个以上的铸型时，在浇完第一个铸型后，浇包必须保持倾斜状态，不应回复至浇注前的垂直位置。

2. 坩埚内的合金液最后剩余量应不少于坩埚容量的15%～20%（含锆合金）或10%～15%（含铝合金）。

2. 有挡板坩埚的浇注工艺（见表6-29）

表6-29 有挡板坩埚的浇注工艺

序号	工序	浇注操作	备注
1	从炉内提出坩埚	1）将坩埚从炉膛内提出，置入回转式的浇包套内，平稳地吊运至浇注场地 2）清除浇嘴和挡板上的熔渣等杂物 3）金属液面燃烧处，应撒以阻燃剂	禁止使用熔剂
2	测量合金液的温度	将带套管的热电偶在熔剂坩埚内洗涤后，测量合金液的温度	如不符合浇注温度的要求，需进行调整
3	浇注铸型	1）浇注前，先从浇嘴内倒出少许合金液 2）浇注铸型 3）浇注时，保持液流平稳，不可中断，浇口杯内保持充满2/3以上的合金液 4）浇注过程中，应不断地向液流表面、浇口杯和坩埚内撒以阻燃剂	合金液可倒入事先准备好的浇包或锭模中 浇注时浇包嘴应尽量靠近浇口杯

注：1. 如同一坩埚连续浇注几个铸型时，在浇完上一个铸型后，坩埚的吊运应维持原来的倾斜状态，并保持平稳，以免合金液发生“浑浊”。

2. 浇注后，坩埚内的合金液剩余量应不少于坩埚容量的15%～20%（含锆合金）或10%～15%（含铝合金）。

3. 铸造镁合金的熔炼浇注安全技术

熔融状态的镁在空气中会剧烈氧化和燃烧。因此，镁合金的熔炼一般采用熔剂覆盖工艺，并严格遵守操作规程。

1）熔炼工作场地应保持干燥、整洁、通风良好、道路畅通。地面用铸铁板铺成，不准使用混凝土地面。因镁液落到混凝土地面上时，与混凝土内所含水分相互作用而可能引起爆炸。

2）熔炉底部应备有坩埚渗漏时应用的安全装置。坩埚装料不得超过其容量的90%，以免操作时溢出。熔炼镁合金所用熔剂都是吸水性的，所以熔炼工具大都粘附有上次操作时残留的潮湿熔剂。因此，工具、热电偶等在浸入合金液进行操作之前，必须预热干燥并在熔剂洗涤坩埚中洗涤干净并加热至亮红色；炉料、光谱试样模、断口模及锭模等在使用前也必须预热，保证干燥作业。

3）如果通过使用潮湿工具将水分带入熔融金属，或合金液浇入未预热烘干的锭模中，由于下列原因，会引起严重的爆炸危险：

①镁的密度小，因而较其他熔融金属更易外溅。

②熔融的镁与水反应产生氢，氢又重新和空气中的氧化合，增加爆炸的猛烈程度。

③爆炸飞溅成小滴的镁液能着火、燃烧并放出高的热量。

4）为防止坩埚穿孔，每次使用前应严格检查。熔炼过程中，炉内冒出熔剂汽化的黄色烟雾或白色氧化镁烟雾是坩埚已漏的迹象。

5）如坩埚穿漏不甚严重，对于固定式坩埚应该用手提式浇包迅速将合金液倒出浇入锭模；对于带挡板的坩埚，则立即将坩埚从炉内吊出，将合金浇入锭模。如穿漏严重，则不应取出坩埚，在可能的情况下用浇包舀出合金液，浇注成锭。炉中或坩锅中剩余的金属液用熔剂覆盖。

6）在任何情况下严禁用水灭火。一般的泡沫、干粉或二氧化碳等类型的灭火剂也扑不灭镁的燃烧，使用这些灭火剂只能加速镁的燃烧并引起爆炸。因此，只能使用专用灭火剂（见表6-30）灭火。

表6-30　熔炼工作场地常用的灭火剂

序号	灭火剂分类	名　　称	用　　途
1	通用灭火剂	熔炼镁合金的熔剂：粉状光卤石、RJ-1、RJ-2、RJ-3、JDMF等	用于一切火源
2	局部有效灭火剂	干砂、干燥的石墨粉、干菱苦土、粉状氧化镁、镁合金铸造用砂	用于局部小火源，但不能用于坩埚灭火

7）必须注意，燃烧着的镁能使二氧化碳分解，使二氧化碳还原而继续燃烧并放出大量热。严禁用砂子来扑灭镁液和熔化坩埚中镁的燃烧。同样，严禁用砂来扑灭坩埚烧穿时流入炉膛内的镁的燃烧。因为火源相当大时，二氧化硅会与燃烧的镁反应，放出大量的热并促使镁燃烧加剧。

8）此外，镁合金熔炼时会逸出大量有害气体，因此熔炼工作场地必须有良好的通风设施。

6.3.5 铸造轴承合金的熔铸

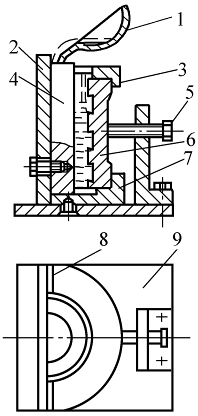
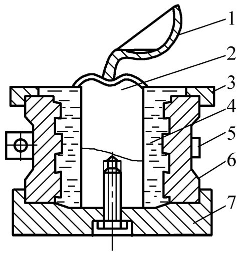
用于制造滑动轴承、轴瓦的金属材料称为轴承合金。工业中最常见的有锡基、铅基、铝基和铜基类非铁铸造轴承合金。

性能优良、使用最广的铸造轴承合金是熔点低的锡基和铅基轴承合金，统称巴氏合金。因其质地软而强度又低，不适合于制作整体轴承，而是将它们浇注在低碳钢（牌号08、08F或10钢）钢壳表面，作为双金属轴瓦材料。锡基和铅基轴承合金的熔铸见表6-31。

表6-31 锡基和铅基轴承合金（巴氏合金）的熔铸

工序		方法
轴承钢壳的清理与镀锡	1. 脱脂与水洗	1）采用NaOH的质量分数为10%～15%的水溶液作为油脂清洗剂 2）水洗 3）脱脂检验：用干净白色绸布或白纸擦拭钢壳表面，检查有无污物
	2. 酸洗、水洗与沸水清洗	1）酸洗液有两种：盐酸溶液（质量分数为10%～15%）和硫酸溶液（质量分数为15%～25%） 2）方法：将钢壳浸入酸洗水溶液槽内2～5min。对大型轴瓦的钢壳如不能浸入酸洗槽内酸洗，可用刷子浸酸后擦拭 3）水洗 4）沸水清洗 5）钢壳表面酸洗后呈均匀银灰色光泽。不能用手触摸，以免沾上手指上的油脂
	3. 涂保护剂	在不镀锡的钢壳表面涂一层涂料，干燥后起保护作用。保护涂料配方有三种（质量分数）：白垩粉1%＋水胶1%～2%＋水3%；或白垩粉2%＋水玻璃2%＋水1%；或粘土1%＋适量水，调成稀糊状使用
	4. 涂熔剂	镀锡前，在钢壳表面涂一层饱和的氯化锌水溶液。消除钢壳表面清洗后重新形成的氧化膜
	5. 镀锡	镀锡层应薄而均匀。锡基轴承合金镀锡时采用纯锡。铅基轴承合金采用焊锡（质量分数：Sn60%，Pb40%） 方法：将纯锡或焊锡放在镀锡槽内熔化，并升温到270～300℃。然后，将预热至120℃左右的钢壳全部浸入槽内，待锡液停止冒泡时，将钢壳取出。若钢壳尺寸较大，或没有镀锡槽时，可将清洗后的钢壳加热到300～350℃，然后，涂刷一层氯化锌溶液，接着，用纯锡条或焊锡条在钢壳表面往复涂抹，使其熔化，并用刷子将已熔化的锡液均匀地涂挂于钢壳表面 检查：钢壳镀锡表面呈银白色，光亮如镜，锡液能在工作面上流动，则表明镀锡良好。呈淡蓝色，表明锡液温度过高，镀锡表面已氧化。表面出现黑斑，表明钢壳局部表面没有清洗干净，未镀上锡

（续）

工　　序			方　　　法
合金熔炼要点	锡基轴承合金		1）将干燥木炭加在坩埚底部，坩埚预热到200℃左右，加入1/2总锡量和全部铜。当料全熔后，加入预热过的锑粒，并不断搅拌，待锑全部熔化后，清渣 2）加入剩余的锡，当合金液升温到浇注温度时，可恒温1h，以使合金成分均匀 3）将合金液搅拌后，用质量分数为0.05%～0.1%的脱水氯化铵精炼。如果长时间连续浇注，可每隔1h精炼一次。静置一定时间后，扒去炉渣，即可浇注
合金熔炼要点	铅锑轴承合金	含铜	熔炼工艺和锡基轴承合金的基本一样。不同之处是： 1）熔炼开始时，一次加入全部锡和铜 2）锑全部熔化，并在清渣后，加入全部铅
合金熔炼要点	铅锑轴承合金	不含铜	1）将坩埚预热到暗红色，先加入1/3纯铅，加热至700～750℃，然后分批加入锑粒，使锑全部熔化 2）清除液面上的氧化层，在660℃时加入块状砷，并用力搅拌促使其熔化。然后，加入其余的铅。在420～450℃时，最后加入镉和锡 3）如果炉渣过多，可在液面上撒适量的白蜡，使氧化渣还原，并与合金液分离 4）用质量分数为0.05%～0.1%氯化铵精炼，静置2～4min后，扒渣，浇注
合金的浇注（重力浇注）要点	 半圆形轴瓦浇注工艺简图 1—勺子　2—立板　3—半圆铁环 4—金属芯　5—压紧螺钉　6—钢壳 7—底座　8—石棉纸板　9—底板		 圆形轴瓦的浇注工艺简图 1—勺子　2—芯　3—铁环 4—金属液　5—夹紧环 6—钢壳　7—底座

（续）

工序		方法
合金的浇注（重力浇注）要点	1. 预热	浇注前浇注工具应预热。金属芯涂一层石墨，并在装配前预热
	2. 轴瓦温度	严格控制镀锡轴瓦温度，应达到250～270℃，使锡层处于液体状态
	3. 浇注温度	严格掌握浇注温度，控制在合金液相线温度以上70℃左右
	4. 连续、均匀、快速浇注	浇注时，金属液要连续不断、均匀快速地流入型腔，避免卷入空气和氧化
	5. 搅拌与补浇	浇注后，需用红热的铁棒在型内轻轻搅动，以利夹杂物上浮、气体排出和合金液的补缩。当凝固接近顶部时，应补浇合金液，供补缩
	6. 喷水冷却	在轴瓦底部喷水冷却，促使合金液从下而上地定向凝固

第 7 章　铸件的落砂与清理

落砂与清理是铸件生产过程的最后一道工序。工序的目标是获得铸件优良的表面质量和改善内部质量。为此，在这些工序中，应完成落砂除芯、去除浇冒口、表面清理与铲磨、热处理、缺陷修补、涂装等工作并进行质量的鉴别。

铸件材质、复杂程度、重量大小、技术要求、上道工序的执行情况、生产方式和批量不同，则铸件清理工作的程序也不相同。铸钢件单件小批生产条件下的清理程序如图 7-1 所示。灰铸铁件单件小批生产条件下的清理程序如图 7-2 所示。

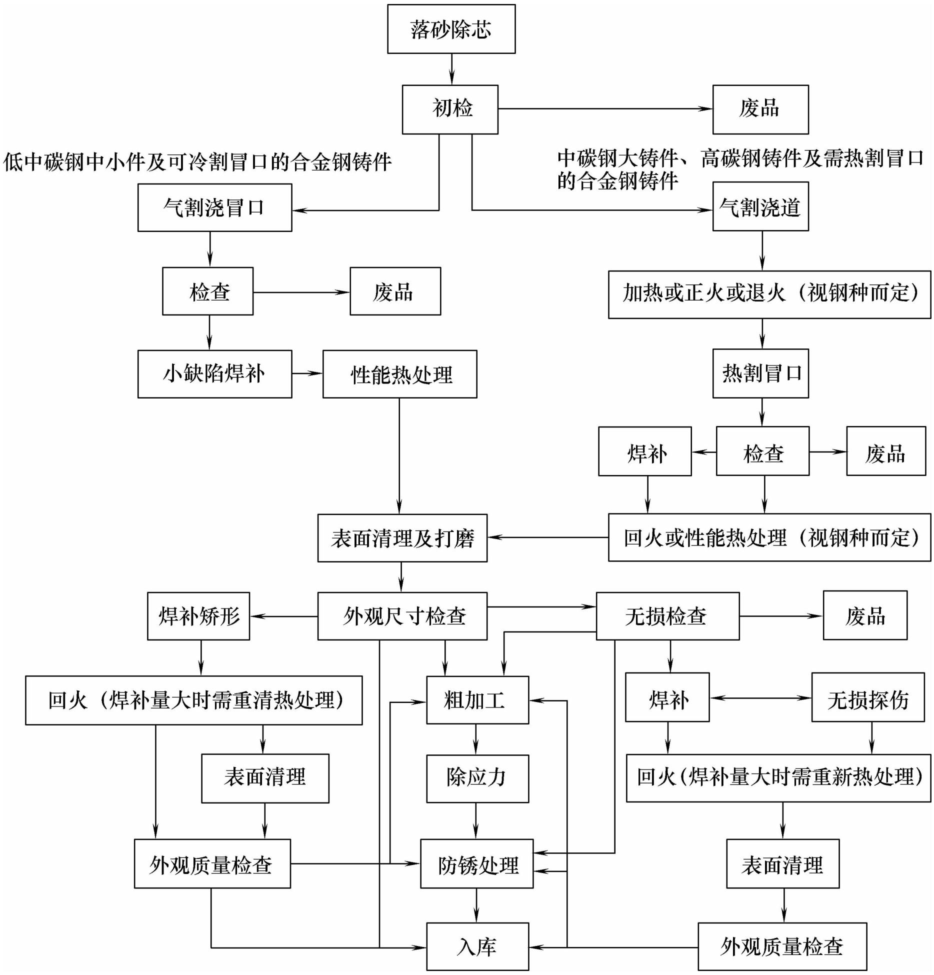


图 7-1　铸钢件清理程序

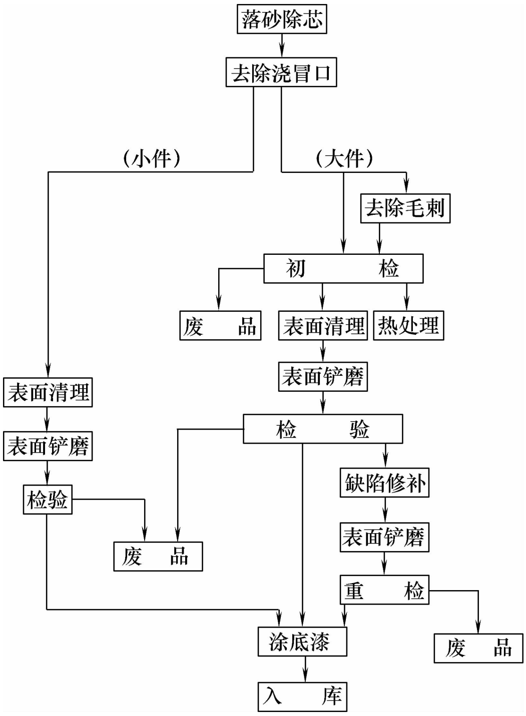


图 7-2　灰铸铁件清理程序

7.1　铸件的落砂

7.1.1　铸件在砂型内的冷却时间

从砂型内取出铸件的操作叫落砂，也称打箱。浇注后，铸件在砂型内应有足够的冷却时间，才能开始落砂。提早落砂，铸件的强度和韧性不够，易产生变形和裂纹；过晚落砂，将延长生产周期，降低生产率。

1. 铸钢件在砂型内的冷却时间

1）对一般形状的铸钢件，应在砂型内冷却到 250 ~ 450℃ 方可落砂，称之为冷打箱工艺。铸钢件在砂型内的冷却时间如图 7-3、图 7-4、图 7-5 所示。

2）对形状极其复杂、截面厚度相差悬殊，或因砂型退让性太差，容易引起铸件产生裂纹时，不采用冷打箱工艺而采用热打箱工艺。热打箱工艺是指趁铸件在红热状态下快速打箱，而后立即放入保温坑内，或用保温材料覆盖起来，使其缓慢冷却，尽可能在自由状态下收缩，对铸件质量会有明显提高。

2. 铸铁件在砂型内的冷却时间

一般铸铁件在砂型内冷却到 300 ~ 500℃，易冷裂和变形的铸铁件冷却到 200 ~

300℃，易热裂和需要提高强度和硬度的铸铁件冷却到 800 ~ 900℃时，方可开箱落砂。

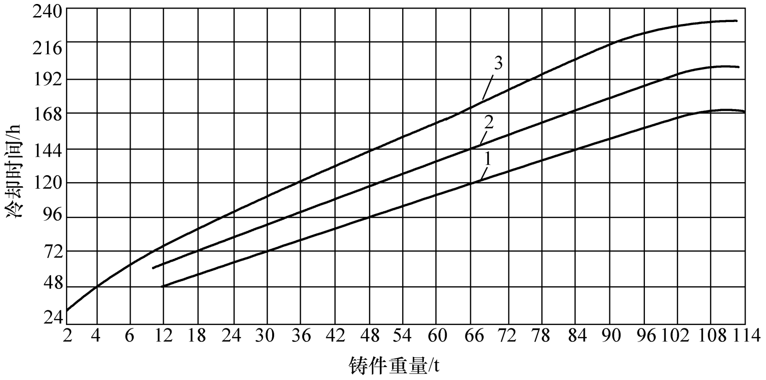


图 7-3　大型碳钢铸件在砂型中的冷却时间

1—主要壁厚在 36 ~ 80mm 的铸件　2—主要壁厚在 81 ~ 200mm 的铸件

3—主要壁厚在 200mm 以上的铸件

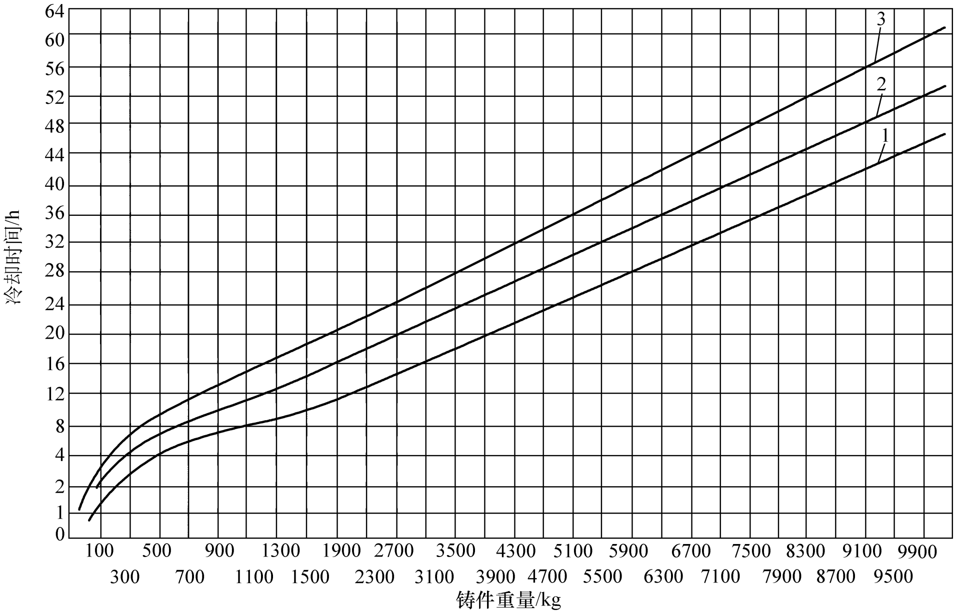


图 7-4　中、小型碳钢铸件在砂型中的冷却时间

1—大多数壁厚在 35mm 以下的铸件　2—大多数壁厚在 36 ~ 80mm 的铸件

3—大多数壁厚在 81 ~ 200mm 的铸件

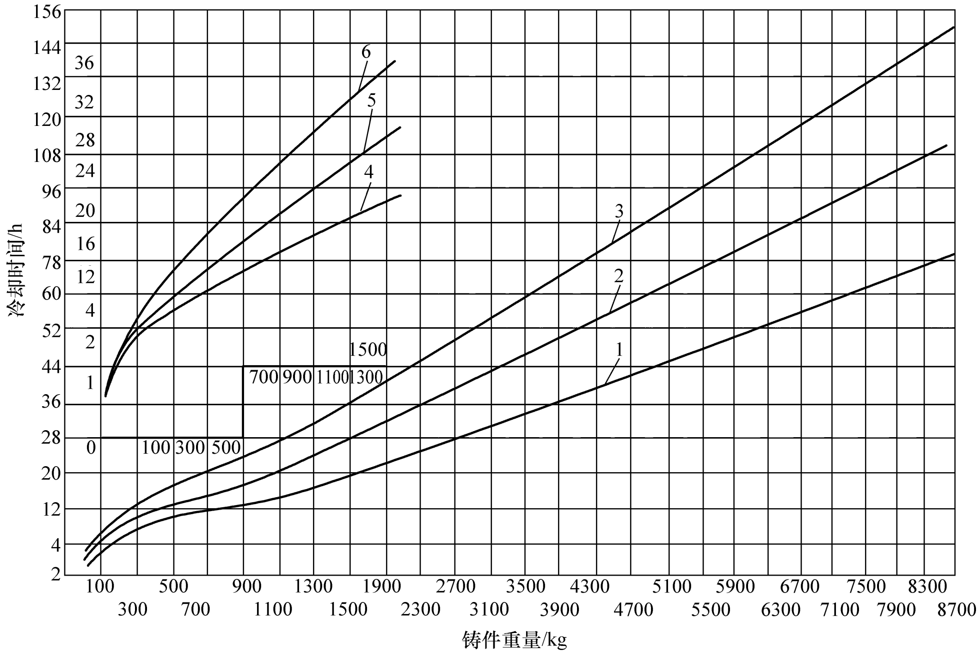


图 7-5　ZG310-570 和合金钢铸件在砂型中的冷却时间

1、4—大多数壁厚在 35mm 以下的铸件　2、5—大多数壁厚在 36 ~ 80mm 的铸件

3、6—大多数壁厚在 81 ~ 150mm 的铸件　1、2、3—碳素钢铸件　4、5、6—合金钢铸件

1）中、小型铸铁件的冷却时间见表 7-1。

表 7-1　中、小型铸铁件的冷却时间

铸件重量/kg	铸件壁厚/mm	冷却时间/min	铸件重量/kg	铸件壁厚/mm	冷却时间/min
<5	<8	20 ~ 30	50 ~ 100	<30	80 ~ 160
5 ~ 10	<12	25 ~ 40	100 ~ 250	<40	120 ~ 300
10 ~ 30	<18	30 ~ 60	250 ~ 500	<50	240 ~ 600
30 ~ 50	<25	50 ~ 100	500 ~ 1000	<60	480 ~ 720

2）砂箱造型、重大型铸铁件的冷却时间见表 7-2。

表 7-2　砂箱造型、重大型铸铁件的冷却时间

铸件重量/t	冷却时间/h	铸件重量/t	冷却时间/h
1 ~ 5	10 ~ 36	20 ~ 30	90 ~ 126
5 ~ 10	36 ~ 54	30 ~ 50	126 ~ 198
10 ~ 15	54 ~ 72	50 ~ 70	198 ~ 270
15 ~ 20	72 ~ 90	70 ~ 100	270 ~ 378

3）地坑造型、重大型铸铁件的冷却时间见表7-3。

表7-3　地坑造型、重大型铸铁件的冷却时间

铸件重量/t	冷却时间/h	铸件重量/t	冷却时间/h
1 ~ 5	12 ~ 48	20 ~ 30	120 ~ 168
5 ~ 10	48 ~ 72	30 ~ 50	168 ~ 264
10 ~ 15	72 ~ 96	50 ~ 70	264 ~ 360
15 ~ 20	96 ~ 120	70 ~ 100	360 ~ 504

3. 非铁合金铸件的出型温度（见表7-4）

表7-4　非铁合金铸件的出型温度

铸件结构特点	铸型性质	合金铸件工艺性	铸型现场环境	铸件出型温度/℃	
				中、小铸件	大型铸件
形状简单壁厚均匀	无芯、湿芯、湿型	热裂倾向小如Al-Si系合金	温度较高无穿堂风	300 ~ 350	250 ~ 300
	干芯、干型			250 ~ 300	200 ~ 250
	无芯、湿芯、湿型	热裂倾向大如Al-Cu系合金	温度较低有穿堂风	250 ~ 300	200 ~ 250
	干芯、干型			200 ~ 250	150 ~ 200
形状复杂壁厚不均匀	无芯、湿芯、湿型	热裂倾向小如Al-Si系合金	温度较高无穿堂风	200 ~ 250	150 ~ 250
	干芯、干型			150 ~ 250	100 ~ 200
	无芯、湿芯、湿型	热裂倾向大如Al-Cu系合金	温度较低有穿堂风	150 ~ 200	100 ~ 200
	干芯、干型			100 ~ 150	< 100

7.1.2　落砂方法

1. 机械落砂除芯

1）ZL型、L12系列振动电动机驱动的惯性振动落砂机。该种落砂机是由固定于落砂机栅床两侧的振动电动机带动栅床上下振动。它的优点是便于维修，寿命长，振击力可调，只在上下方向振动、噪声低，基础设计简单。广泛应用于单件、小批、多品种生产的车间。其主要技术规格见表7-5、表7-6。

表7-5　ZL型振动电动机驱动的惯性振动落砂机的主要技术规格

型号	有效载荷/kN	台面尺寸（宽/mm）×（长/mm）	激振力/kN	功率/kW	重量/t
ZL2-12/16	20	1.2 × 1.5	2 × 35	2 × 2.2	2.045
ZL3-14/20	30	1.4 × 2	2 × 49	2 × 3	2.98
ZL4-18/25	40 ~ 50	1.8 × 2.5	2 × 90	2 × 4	4.4

2）振动电动机驱动的惯性振动输送落砂机。该机是由两台或四台振动电动机侧置、上置或下置在栅床上。由于惯性振动输送落砂机激振器的布置，振激力与栅床面成β角（称为激振角，$\beta = 60° \sim 70°$），带动铸件跳跃前进，铸件在前进过程中与栅床

撞击而落砂。这种落砂机结构简单，维修方便，适合于各种铸造生产线的落砂，缺点是噪声大。

表 7-6　L12 系列振动电动机驱动的惯性振动落砂机的主要技术规格

型号	有效载荷 /kN	台面尺寸 (宽/mm)×(长/mm)	激振力 /kN	功率 /kW	重量 /t
L121	10	1.4×1.5	2×20	2×1.52	2.8
L122	20	1.6×1.8	2×31.5	2×2.4	3.3
L123	30	1.9×2	2×49	2×3.7	3.8
L124A、L124B	40~50	1.9×2.8	2×80	2×5.5	5.2
L126	60	1.92×7	2×98	2×6.3	5.9
L128A、L128D	60~80	2.0×2.8	2×100	2×7.5	6.5(9.5)
L1210	100	2.5×3.0	2×78.4	2×5.5	15
L1212	100~120	2.0×3.0	2×100	2×7.5	11
L1215	150	2.8×3.4	2×100	2×7.5	18.6

3）滚筒式落砂机。L32 系列滚筒冷却式落砂机主要用于垂直分型无箱射压造型线上，边输送边落砂。

4）气动落砂除芯机。生产批量较大的情况下常采用 L415 型及 L415A 型气动型芯落砂机。

2. 水力清砂

水力清砂是利用高压泵输出的高压水，经管道输送到喷枪的喷嘴喷出，形成高压射流，射向铸件表面，以清除砂芯和粘附砂层的一种清砂方法。

（1）适用范围　主要用于清理重型和大型铸铁及铸钢件表面的型砂和砂芯。虽然水力清砂的生产效率比手工清砂高几倍到几十倍，湿法作业，无粉尘、噪声小，工人劳动强度低，工作条件好，但此法需配有旧砂烘干、污水处理、污泥排除等设备，管路复杂，占用面积较大，电耗和水耗都很大，因此，水力清砂的应用越来越少，目前只有老厂在使用，新建厂不再采用。

（2）水力清砂除芯系统装置　水力清砂除芯设备都附有水处理和砂再生系统。水力清砂除芯系统装置如图 7-6 所示。

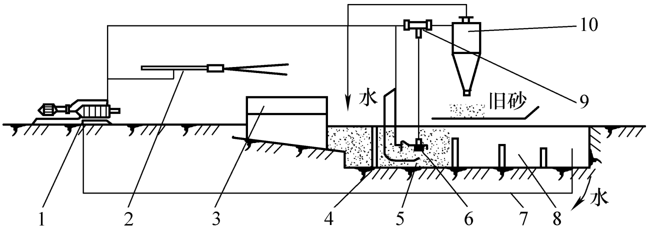


图 7-6　具有循环水处理系统的水力清砂除芯装置示意图

1—离心水泵　2—喷枪　3—固定式转台　4—蓄砂池　5—水搅拌器　6—吸砂器　7—水管　8—沉淀池　9—水力提升器　10—水砂分离器

（3）水力清砂的操作程序　见图 7-7。

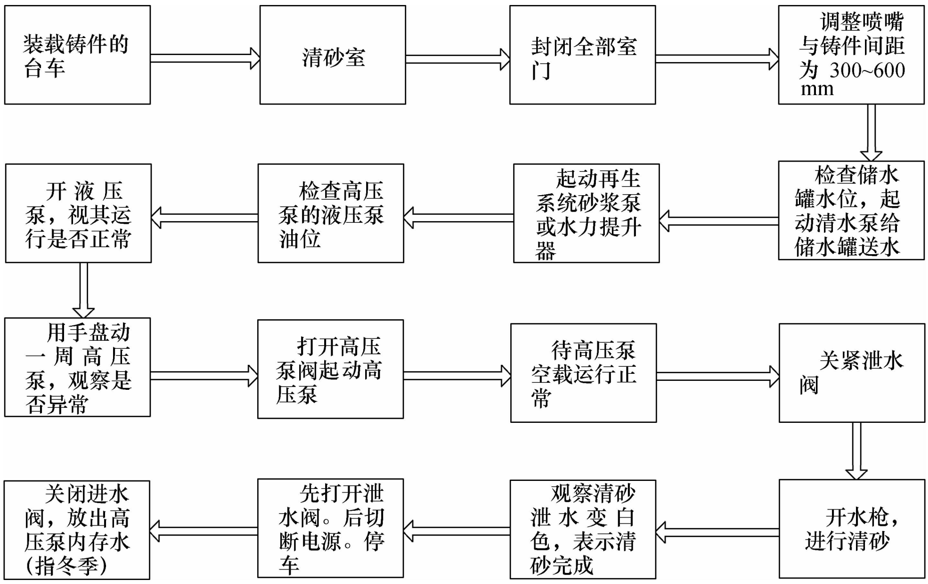


图 7-7　水力清砂操作程序

（4）水力清砂操作的注意事项

1）待清理的铸件温度不能太高（<50℃），以免在水的激冷下铸件开裂。

2）铸件在台车上的摆放位置，应使喷枪喷射铸件时射流畅通无死角。

3）调整好喷嘴与铸件间距后，水枪前后移动机构一定要锁紧，以防在反作用下突然退出伤人。

4）严禁随意调整安全阀和松动高压部位螺栓。

5）注意观察高压泵运行状况和压力变化：

①正常运行时，高压泵声音清晰，无明显杂音，压力表指针波动小，压力较稳定。

②异常时，应停车检查。当压力突然增大时，应打开泄水阀，检查是否有异物堵塞喷嘴。

6）停车前，先打开泄水阀，后切断电源。在冬季，需关闭进水阀，放出高压泵内存水，以防冻裂。

7）清砂困难时，可采取高水压、小喷嘴。

3. 电液压清砂

（1）电液压清砂的原理　电液压清砂是基于液电效应，利用高压大电流在水中放电产生的冲击波来清除置于水中铸件上的芯砂。

（2）电液压清砂的特点　清砂效率比一般清砂工艺提高 1～3 倍；清理质量高，能耗低，不损伤铸件并可提高铸件表面硬度；可消除铸造应力，无须退火处理；适用于各种材质的铸件，可以清除掉复杂铸件内腔和孔道中难以清除的造型材料；无粉尘

和污染，有利于改善劳动条件和环护；结构紧凑，占地面积小等。

（3）电液压清砂的工艺过程

1）驱动车将装有待清理铸件的装料平车，推至清理室内起落架的下层平台上，驱动车退出室外。

2）升降机构将起落架连同铸件一起下降至水箱中。

3）对水箱中的铸件进行高压充、放电，清除掉铸件内的芯砂。

4）清理完毕后，起落架升起，驱动车进入清理室拉出装料平车，完成一个工作循环。清理下来的砂子及污水进入水、砂处理系统。

（4）适用范围　适用于单件、成批、大批量生产，重量 0.1kg ~ 30t 的铸件清砂，能够清除铸件上任何强度的芯砂和残砂，尤其适用于熔模铸件清砂。

4. 电化学清砂

电化学清砂仅用于粘砂严重、要求清理质量高的精铸件及内腔复杂的过流铸件的清砂，适用于长孔、细孔、弯孔和不通孔的铸件。电化学清砂若与电液压清砂配合，可获得高效优质的清砂效果，但是成本较高，劳动保护要求较严。因此，在用其他清砂方法可以解决问题时，不宜采用电化学清砂。

7.2　铸件的清理

7.2.1　浇冒口的去除

1. 浇冒口去除的方法（见表 7-7）

表 7-7　铸件浇冒口去除方法

序号	去除方法	措　施	应　用
1	锤击敲断法	用大锤按规定的锤击方向敲断浇冒口	广泛应用于铸铁件
2	机械冲、锯、切法	用移动式多向气动锤冲 用圆锯机、带锯机、弓锯机锯 用砂轮切割机切除	中、小型轴类球墨铸铁件和可锻铸铁件
3	等离子切割	利用等离子体电弧进行切割	各种铸铁件、铸钢件
4	导电切割	利用具有一定机械压力和速度的工具电极（阴极）与被切割铸件（阳极）接触所产生的电弧放电来切割铸件浇冒口	成批生产的小而硬脆的铸铁件
5	电弧气刨	利用碳电极与铸件间产生高达 6000 ~ 7000℃ 的电弧来熔化金属，借助压缩空气将熔融的金属液吹除，以达切除铸件浇冒口的目的	各种铸铁件、铸钢件
6	氧乙炔焰气割	用氧乙炔焰产生高温气流切割浇冒口	主要用于铸钢件

2. 氧乙炔焰气割

气割过程的实质就是金属燃烧，即用氧乙炔火焰对被切割的金属预热，预热了的金属在氧气中燃烧并放出燃烧热，氧气流将熔化的金属氧化物吹掉，从而达到切割的目的。

（1）氧气、乙炔气的工作压力及加氧管　见表7-8。

表7-8　氧气、乙炔气的工作压力及加氧管

冒口直径 D 或宽度 B/mm		<500	500~800	800~1000	>1000
工作压力/MPa	氧气	0.59	0.98	0.98	0.98
	乙炔气	0.029	0.029	0.029	0.029
加氧管规格	直径/mm	—	8	8	8
	数量/个	—	1	1~2	2

（2）冒口切割余量及修整规定　见表7-9。

表7-9　冒口切割余量及修整规定

冒口直径 D 或宽度 B/mm	<100	101~200	201~300	301~400	401~500	501~600	601~800	801~1000	1001~1200	>1200
切割余量/mm	+3 −1	+5 −2	+8 −2	+12 −2.5	+16 −3	+20 −3	+30 −4	+40 −4	+6 −5	+70 −5
修整规定	1）留冒口切割余量的目的是为防止因气割而在接近冒口根部的铸件上产生裂纹 2）若冒口设在加工面上，切割余量可修整 3）设在非加工面上的冒口，如果切割余量影响铸件外观质量，或影响与其他零件装配时，应修整到与铸件表面齐平 4）补贴修整规定同3） 5）浇道工艺肋气割后残根修整与铸件表面齐平									

（3）冒口热割的规定　冒口均是在清砂后气割。气割前，冒口根部清理区高度应高出切割余量30~50mm。

冒口的气割有冷割和热割。冒口直径小于500mm的一般铸钢件都是在室温下气割，称之为冷割。而有些铸钢件，例如高碳钢铸件、某些合金钢铸件、冒口尺寸较大及结构复杂的铸钢件，在热处理前存在较大内应力，气割时易产生裂纹，为避免裂纹，需要采用冒口热割工艺，见表7-10。

（4）高锰钢铸件冒口的切割　高锰钢铸件由于导热性差，气割冒口时易产生裂纹。

1）当采用边冒口、易割冒口、扁平内浇道时，水韧处理前可用锤击掉浇冒口。

2）水韧处理前气割较大冒口时，气割余量大于50mm。

3）对尺寸较大的顶冒口，应将铸件浸入水中，冒口露出水面气割；水韧处理后再气割冒口残根，且边割边用水冷却。

表 7-10　冒口热割的规定

铸钢件牌号	热割温度/℃	热　割　规　定
ZG230-450、ZG270-500	>150	1）冒口直径大于 500mm 时热割 2）可利用落砂后铸件的余热切割 3）可局部加热切割 4）对齿轮件全部热割冒口
ZG5MnSi		
ZG20MnSi		
ZG15Cr1Mo		
ZG20CrMo		
ZG22CrMo		
ZG310-570	>200	1）可利用落砂后铸件的余热热割 2）可清砂后局部加热热割 3）可利用正火后的余热热割 热割后进行热处理
ZG35SiMn		
ZG42SiMn		
ZG35SiMnMo		
ZG5CrMnMo		
ZG40Cr		
ZG40CrMn		
ZG40CrV		
ZG35CrMnSi		
ZG15Cr13		
ZG15Cr2Mo1	>150	利用正火后的余热热割，割后回火
ZG20CrMoV	>300	利用退火后的余热热割，割后热处理
ZG15Cr1MoV		
基体为马氏体或马氏体+铁素体组织的高合金钢铸件，需热割冒口		

注：热割后的冒口应留在原来位置上保温 24h 后方能吊走，如果冒口脱离了铸件，应将铸件进炉保温缓冷。如果冒口较小，可在气割面上撒盖干砂保温缓冷。

4）不影响装炉的大冒口，可水韧处理后气割，边割边浇水冷却。

（5）普通冒口气割工艺　中、小冒口可用单枪法切割，大冒口可用单枪法和加氧法两种气割。

加氧法气割冒口，是先借助割炬用氧乙炔焰将冒口切割处预热到高温（割炬作用是预热和扩大割口），然后用内径 ϕ8mm 的铜管或纯铜管作加氧管吹氧（压力为 1 ~1.5MPa），吹出的氧气流使割口处的金属剧烈氧化燃烧，并吹去燃烧生成的氧化物。随吹氧管的移动将冒口割除。加氧气割冒口时割口宽度见表 7-11。

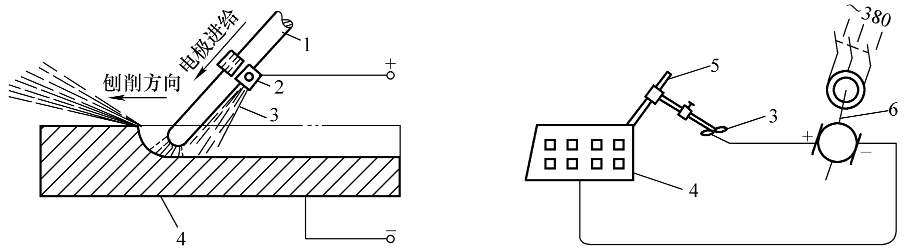
表 7-11　加氧气割冒口时割口宽度

冒口直径 D 或宽度 B/mm	割口宽度/mm	冒口直径 D 或宽度 B/mm	割口宽度/mm
<500	40 ~ 60	801 ~ 1100	90 ~ 120
501 ~ 800	60 ~ 90	>1100	120 ~ 180

3. 电弧气刨

电弧气刨是利用碳电极与铸件间产生的高温电弧熔化金属，并用压缩空气将熔化的金属吹除，以切除铸件上的浇冒口、飞翅、毛刺、胀箱、重皮、冒口残根，以及切割焊接坡口和修整焊缝的铸件清理方法，见表 7-12。

表 7-12　电 弧 气 刨



a)　　b)

a）电弧气刨示意图　b）电弧气刨机主回路接线图
1—电极　2—刨钳　3—压缩空气　4—铸件　5—碳电极棒　6—直流焊机

设备	电源采用 AB-500 型直流弧焊机。若切割厚大铸件需要大电流，可将两台小型直流弧焊机并联使用
工艺参数	1. 电源导线。根据电流大小选择电源导线的截面积（见下表）： 2. 碳电极棒的规格及其使用电流范围（见下表）：

1. 电源导线。根据电流大小选择电源导线的截面积（见下表）：

电流/A	导线截面积/mm²		电流/A	导线截面积/mm²	
200	25	—	450	70	35 × 2
300	50	16 × 2	600	90	35 × 2

2. 碳电极棒的规格及其使用电流范围（见下表）：

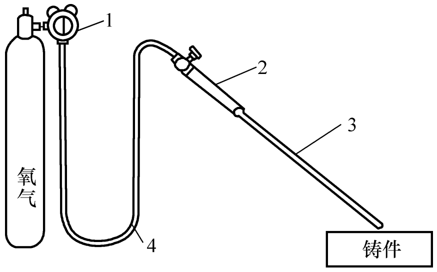
类别	型号	外皮	规格（直径/mm）×（长度/mm）	电源	电流/A
圆形碳电极棒	DB6	铜皮	$\phi 6 \times 355$	直流	200 ~ 250
	DB8		$\phi 8 \times 355$		350 ~ 400
	DB10		$\phi 10 \times 355$		450 ~ 550
	DB12		$\phi 12 \times 355$		—
扇形碳电极棒	DB3 × 12	铜皮	3 × 12 × 355	直流	200 ~ 300
	DB4 × 12		4 × 12 × 355		300 ~ 380
	DB5 × 12		5 × 12 × 355		340 ~ 450
	DB5 × 15		5 × 15 × 355		400 ~ 500
	DB5 × 18		5 × 18 × 355		500 ~ 600
	—		5 × 20 × 355		500 ~ 600
	—		5 × 25 × 355		—
	—		6 × 20 × 355		—

（续）

	正负极接法		刨削电流 /A	刨削速度 /(mm/min)	压缩空气压力 /MPa	电弧长度 /mm
操作要点	铸钢件—反接法，即铸件接负极，碳电极棒接正极	铸铁件及非铁合金—正接法	(35~40)d	600~700	0.5~0.6	0.5~1
	d—碳电极棒直径(mm)					

4. 氧弧熔断棒切割（见表 7-13）

表 7-13　氧弧熔断棒切割

简图	 氧弧熔断棒切割机构示意图 1—氧气表　2—把手　3—氧熔棒　4—氧气胶管
原理	氧弧熔断棒在氧气助燃下，产生 3600℃的高温，可迅速熔断和切割金属铸件的浇冒口和厚大毛刺
特点	操作简单、方便、安全，大大减轻工人的劳动强度，一般可提高工效 5 倍以上；操作过程中没有噪声、振动、弧光和污染；不需要热源，每根熔棒均可插接，没有浪费，可以 100% 地被利用。对铸件的清理干净、彻底、快速，不伤铸件本体
应用	1）清理各种铸件的浇冒口、披缝、毛刺、粘砂、包砂、夹砂、铸件内孔粘砂和堵塞 例如，用氧弧熔断棒清理合金钢、不锈钢和非铁合金铸件的冒口时，切割直径可达到 1000mm 以上；清理 ϕ100mm、深 1000mm 的铸件内孔粘砂时，一般只需要 10~20min 2）清理熔炼炉风眼、出铁口、出钢口和过桥堵塞。当清理冲天炉过桥堵塞时，一般只需要 30~60s

7.2.2　铸件表面清理

1. 表面清理方法及选用原则（见表 7-14）

表 7-14　表面清理方法及选用原则

铸件表面清理方法	工具与设备	应用
手工清理	有手工工具和气动工具，如：固定式、手提式、风铲、悬挂式砂轮机、锉、錾、锤等	单件、小批生产的铸钢件、铸铁件

（续）

铸件表面清理方法	工　具　与　设　备	应　　用
滚筒清理	圆形滚筒清理机、多角形滚筒清理机	批量生产的小型铸钢件、铸铁件
喷丸清理	喷丸器、喷丸清理转台、喷丸室	批量生产的铸钢件、铸铁件
抛丸清理	抛丸清理滚筒、履带式抛丸清理机、转台抛丸清理机、抛丸清理室、抛喷丸清理机	批量生产的铸钢件、铸铁件
机械手自动打磨	机械手式抛丸清理机	用于大量流水线及成批生产的铸件
干法清理选用原则	1）多品种小批量生产时，选择对铸件适应性强的设备；少品种大批量生产时，选择高效和专用清理设备 2）从技术、经济、环保、铸造工艺特点等全面考虑，优先选用干法清理设备。选择次序：先抛丸设备；其次是以抛丸为主、喷丸为辅的设备；对复杂件选用喷丸设备 3）对液压阀类件、精铸件等内腔复杂和表面质量要求高的铸件，选用电液压清砂或电化学清砂	

2. 滚筒表面清理

滚筒表面清理是利用铸件和星铁一同在旋转的滚筒中滚动时相互碰撞和摩擦，进行表面清理的。

（1）滚筒清理机规格　见表 7-15。

表 7-15　圆形和六角形滚筒清理机的型号及参数（JB/T 504—2006）

型号	滚筒断面形状	滚筒内径/mm	转速/(r/min)	装料量/kg	铸件最大尺寸/mm	每班生产率/t	功率/kW	重量/t	外形尺寸(长×宽×高)/m
Q116	圆形	600	39	≈560	400×300	2.5~3	2.6	1.9	2.7×1×1
Q118	圆形	800	30	≈1500	600×500	6~8	7.5	4.8	4.4×1.5×1.3
Q118A	圆形	800	31	≈1500	600×500	6~8	5.5	4.3	3.8×1×1.3
Q168	六角形	对边距离 800	27	≈3000	—	—	13	6.6	6.1×1.6×1.4（内腔长 3m 时）

（2）滚筒清理机操作

1）铸件重量和壁厚差别较大时，不能同批处理。同类小件可集中倒入，长而薄的铸件应顺滚筒长度方向用手放入。

2）装入量为滚筒容量的 70%～80%。不宜太少，以免滚动时碰坏铸件。

3）滚筒中加入占铸件重量 15%～30% 的星铁（尺寸 20～60mm），以提高表面清理质量。

4）运转时间视清理效果而定，一般不小于 1h。

5）装完铸件，先将盖关上、扣紧，然后才可开机。

6）清完后，先关闭电动机，用制动器使滚筒停止旋转，滚筒口应停在便于出清铸件的位置，然后插上保险锁，打开盖出清铸件。

3. 喷丸表面清理

利用压缩空气将金属丸高速喷到铸件表面，打掉铸件表面上的附着物。多用于清理复杂表面和内腔的铸件。

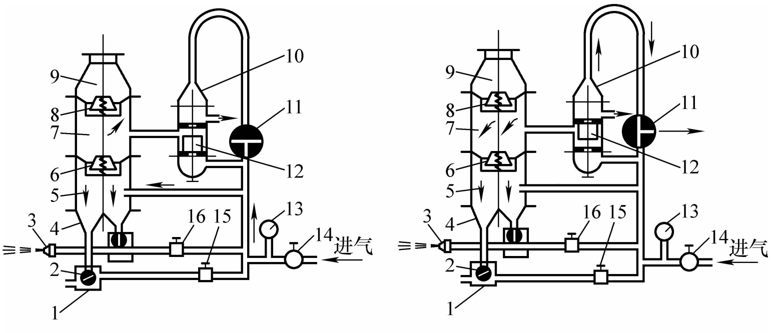
（1）喷丸设备规格　见表 7-16。

表 7-16　喷丸设备规格

喷丸器			转台喷丸清理机		台车式喷丸清理室		
型号	Q2014B（Q2014C）	Q2025	型号	Q2513A	型号	Q265A	Q265G
喷丸室容积/m^3	0.14	0.25	转台直径/mm	1300	台车最大承载量/t	5	5
工作气压/MPa	0.5~0.6	0.4~0.6	喷枪工作压力/MPa	0.5~0.6	工作压力/MPa	0.5~0.6	0.5~0.6
喷丸量/(t/h)	1~1.5	1~1.5	装料重量/kg	≤150	清理室尺寸（长×宽×高）/mm	4×3.6×2.78	5.206×4.206×2.78
工作方式	连续喷射	—	单件最大重量/kg	20			
控制方式	手动	—	单件最大尺寸/mm	350×300×200	铸件最大尺寸（长×宽×高）/mm	1800×1500×1500	
喷枪数量/支	2	1	喷枪数量 主喷枪(机动)/只	3	生产率/(t/h)	2	2
喷嘴直径/mm	10	—	喷枪数量 辅喷枪(手动)/只	1	除尘抽风量/(m^3/h)	14000	15800
每个喷嘴空气耗量/(m^3/min)	6.5	14	每支喷枪喷丸量/(kg/h)	300~400	外形尺寸（长×宽×高）/mm	5700×5500×6200（地下 1200）	
			耗气量/(m^3/min)	8			
弹丸初次装入量/kg	375	—	弹丸循环量/kg	300			
			除尘抽风量/(m^3/h)	800			
			总功率/kW	2.3			
外形尺寸(长×宽×高)/mm	1365×830×2115	1100×925×1800	主机外形尺寸（长×宽×高）mm	1600×1750×1840			
重量/t	0.78	0.4	重量/t	1.66	重量/t	10.6	10.6

（2）喷丸器的操作　见表 7-17。

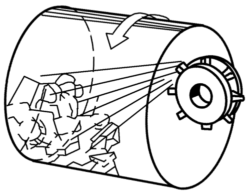
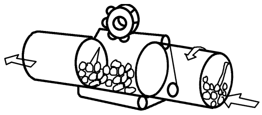
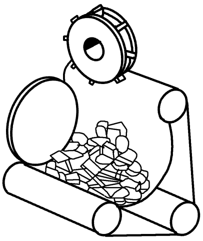
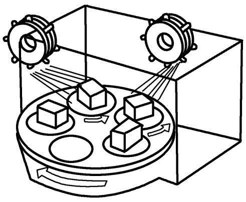
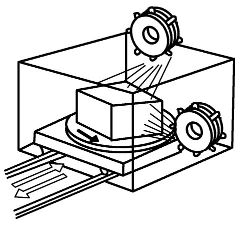
表 7-17　Q2014B 型喷丸器的操作

简图	 a)　　b) Q2014B 型喷丸器示意图 a）喷射位置　b）停止喷射位置 1—混合室　2—转轴　3—喷嘴　4—底座　5—下室　6—下室阀　7—上室 8—上室阀　9—上罩　10—转换开关　11—三通阀　12—转换开关活塞 13—压力表　14—进气蝶阀　15、16—直通阀
序号	操　作　程　序
1	令转轴 2 和各阀处于关闭位置
2	从上罩 9 按装丸量将喷丸加入喷丸器中
3	打开进气蝶阀 14 和直通阀 15、16
4	使三通阀 11 处于喷射位置，如图 a 所示。上室经转换开关与大气相通，压缩空气一路进入混合室，另一路进入下室 5。下室阀 6 关闭。上室阀 8 在铁丸重力作用下开启，铁丸落完后，在弹簧作用下，上室阀被关上
5	逐渐转动转轴 2，使喷丸循序落下，与来自进气管的压缩空气混合后，经喷嘴 3 喷出。待喷射量适当时，停止转动
6	当下室的喷丸喷完时，重新将喷丸从上罩加入喷丸器内，然后再使三通阀 11 处于图 b 的喷射位置，使喷丸从上罩落入上室再落入下室，保持连续工作
7	清理完毕后，先转动转轴 2 关闭喷嘴，再关闭进气蝶阀 14，然后将三通阀转至图 b 所示的停止喷射位置，使室内空气迅速排入大气

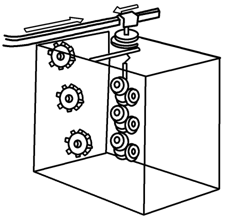
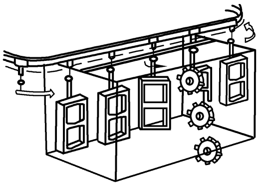
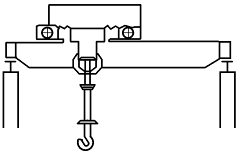
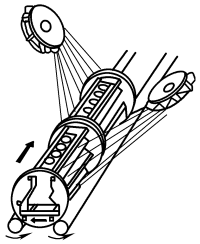
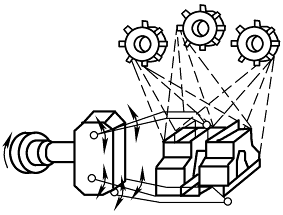
4. 抛丸表面清理

抛丸清理是利用抛丸器将铁丸高速抛射到被清理铸件表面上，除去铸件表面的粘砂、氧化皮及各种表面缺陷。抛丸清理设备的分类及应用见表 7-18。

表 7-18　抛丸清理设备的分类及应用

抛丸清理设备分类		设备简图	主要型号	适用范围
滚筒式	间歇式抛丸清理滚筒		Q3110、Q3110A（滚筒直径 ϕ1000mm） Q3113A、Q3113B（滚筒直径 ϕ1300mm）	适用于清理小于 30kg、容易翻转、不怕碰撞的铸件
	连续式抛丸清理滚筒		DISA 公司： CT-2、CT-3、CT-4 系列	适用于清理小于 30kg、容易翻转、不怕碰撞的铸件
	履带式抛丸清理滚筒		Q3210 Q326 10TN 15GN	适用于清理小于 30kg、容易翻转、不怕碰撞的铸件
转台式	抛丸清理转台		Q3525A Q3525B	适用于薄壁或翻转时易破裂的和扁平类铸件，件重由几千克至 5t
	台车式抛丸清理机		Q365A Q365B	适用于清理大、中型及重型铸件

（续）

抛丸清理设备分类		设备简图	主要型号	适用范围
吊挂式	单钩式抛丸清理机		Q378 Q378A Q378B	适用于多品种、小批量生产
吊挂式	吊链式抛丸清理机		Q383 Q384B Q425 Q485 Q588	适用于大量生产的中等铸件
吊挂式	吊车式		Q7630	适用于大、重型铸件
鼠笼式	鼠笼式抛丸清理机		ZJ023 QL2	适用于中、大型复杂铸件
机械手夹持器式	机械手式抛丸清理机		DISA 公司 DV2-450 型：夹持最大铸件尺寸（长×高）为 1400mm×（100～570）mm	适用于多品种中、大型复杂铸件

7.2.3　铸件表面铲磨

铸件表面铲磨方法及应用见表 7-19。

表 7-19　铸件表面铲磨方法及应用

序号	铲磨方法	应　　用
1	手工铲锉	用于小型铸钢件、铸铁件、非铁合金件表面的铲、锉
2	风动工具铲磨	用于铲磨大、中型铸件表面的粘砂、飞翅、毛刺和清理孔洞
3	砂轮打磨	用于打磨各种铸件的较大平面
4	碳弧气刨	用于铲割大、中型铸件表面较厚的飞翅和较高的冒口残根

1. 风动工具表面铲光

风动工具主要有：风铲、风铣刀、风钻和风砂轮等。

（1）风铲　风铲表面清理是利用风铲铲头的往复冲击力撞击插入的錾子来铲除铸件表面的飞翅、毛刺、残余浇冒口的一种方法。风铲的规格见表 7-20。

表 7-20　风铲的规格

型　　号		C5	C6	C7	C6B
铲重/kg		5	5.6	6.5	6
铲身长/mm		300	377	477	355
锤体	直径/mm	28	28	28	30
	行程/mm	61	99	139	80
	重量/kg	0.21	0.4	0.54	0.3
冲击能量/J		10.8	15.7	24.5	19.6
冲击次数/(次/min)		2400	1500	1000	2000
气管内径/mm		13	13	13	13
压缩空气	使用气压/MPa	0.5	0.5	0.5	0.5
	耗气量/(m^3/min)	0.6	0.6	0.6	0.85

风铲的操作：

1）使用前，将风管内的水分、脏物吹净，把各风管接头拧紧。

2）使用时，手要握紧錾子，慢慢送气，严防錾子飞出伤人。

3）使用中，经常注意软管接头螺母是否松动，以免脱落甩出伤人。

4）风铲不要随意扔在地上，以免进入砂子影响使用。

5）清铲结束，将风铲放在煤油内洗净，擦干，涂上轻润滑油。

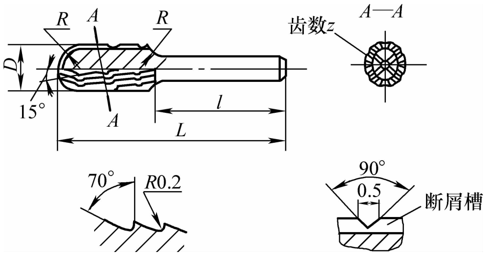
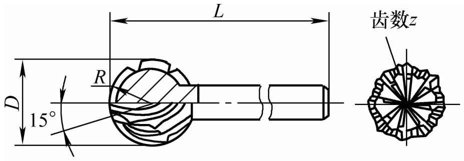
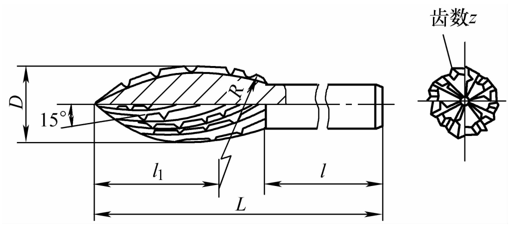
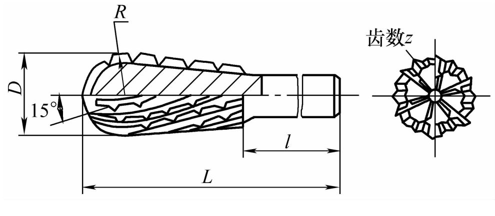
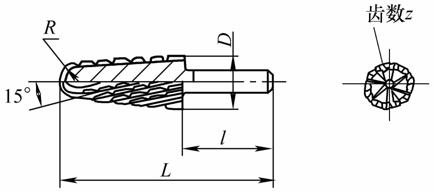
6）錾子尾柄端面应加工成与风铲轴心线垂直，否则，会降低清铲效率。錾子尾柄坏了，易损坏风铲衬套，损坏了的衬套应及时更换。

（2）风铣刀　风铣刀用于铣除铸钢件加工面上的微细缺陷。其规格见表 7-21。

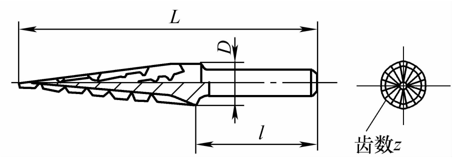
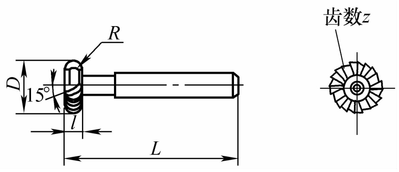
2. 电弧气刨表面铲割

电弧气刨又称碳弧气刨，是利用碳棒和铸件间产生高达 6000 ~ 7000℃ 的电弧来熔化金属，并借助沿碳棒射出的压缩空气流将熔融金属吹除，以达到切除铸件浇冒口、飞翅、毛刺的目的。

表 7-21　W18Cr4V 风铣刀规格　　　（单位：mm）

简　　图	D	L	R	l	齿数 z/个 加工钢铸件	齿数 z/个 加工铝铸件	l_1
	6	60	3	35	16	10	
	8	60	4	30	20	14	
	10	65	5	45	22	16	
	12	70	6	45	24	18	
	15	70	7.5	40	30	22	
	20	70	10	40	36	24	
	10	60	5		22	16	
	12	60	6		24	18	
	15	68	7.5		30	22	
	18	60	9		36	26	
	20	60	10		40	30	
	10	60	20	40	22	16	12.7
	12	60	25	35	24	18	15.7
	15	65	30	35	30	22	19
	20	65	35	35	34	24	22
	10	60	5	40	22	16	
	12	60	6	40	24	18	
	15	65	75	35	30	22	
	20	65	10	35	34	24	
	10	65	3	35	22	16	
	12	70	4	40	24	18	
	15	75	5	40	30	22	
	20	75	5	40	34	24	

（续）

简　　图	D	L	R	l	齿数 z/个 加工钢铸件	齿数 z/个 加工铝铸件	l_1
	8	60		35	20	14	
	10	65		40	22	16	
	12	70		40	24	18	
	15	75		45	30	22	
	20	75		45	34	26	
	10	55	1. 5	3	22	16	
	12	55	2	4	24	18	
	15	60	2. 5	5	30	22	
	20	60	2. 5	5	36	24	

电弧气刨铲割操作：

1）铸件上需铲割处的粘砂要清除干净。

2）检查极性是否正确，碳棒接正极，铸件接负极。

3）准备铲割时，先将总电源开关合上。然后，将割炬上的开关拨到通电位置，使空气管路系统电磁阀的阀门自动打开，压缩空气进入割炬中并由弹性夹头外壁上的沟槽喷出。同时交流电动机起动，带动直流焊机运转，待运转进入稳定状态时，即可进行引弧铲割。

4）铲割时，根据铸件上飞边毛刺的厚度情况正确选择工艺参数，并按工艺参数要求工作：碳棒宽度应比铲割的飞边毛刺宽度大 2 ~ 3mm，碳棒伸出长度一般为 100 ~ 200mm，扁碳棒倾角一般为 20° ~ 35°。

割炬移动方向：仰、横、俯位置铲割时一般应由右向左；竖立位置铲割时一般应由上向下。

铲割速度应保持均匀，太快时易短路，太慢时易断弧。电弧长度一般应保持在 0. 5 ~ 1mm，过长易断弧。

应在未铲割的飞边毛刺根部起弧，以免割伤铸件表面。

5）铲割结束时，应先断弧，数秒钟后再切断压缩空气，以使红热状态的碳棒冷却下来，最后关断电源。

3. 砂轮机表面打磨

利用砂轮上尖锐而硬的砂粒打磨铸件表面，以磨平铸件表面上的飞翅及浇冒口的

残根。

（1）砂轮机的规格　生产中常用的砂轮机有固定式、悬挂式、手提式三种。其规格见表7-22、表7-23、表7-24。

表7-22　固定式砂轮规格

型号	主要技术规格				外形尺寸 (长/mm)×(宽/mm)×(高/mm)	重量 /kg
	砂轮尺寸(外径/mm)×(宽度/mm)	主轴转速 /(r/min)	两砂轮中心矩 /mm	砂轮中心高度 /mm		
M3025	ϕ2500×25	2250	490	800	640×390×950	190
M3030	ϕ300×32	1910	500	800	660×410×970	210
M3035	ϕ350×32	1650	500	800	660×455×995	210
M3040A	ϕ400×40	1430	700	850	870×540×1075	320
M3060	ϕ600×75	1310	1030	850	1310×750×1340	830

表7-23　悬挂式砂轮机规格

砂轮机型号	主要技术规格		外形尺寸 (长/mm)×(宽/mm)×(高/mm)	重量 /kg
	砂轮尺寸 (外径/mm)×(宽度/mm)	主轴转速 /(r/min)		
S3140	ϕ400×40	1860	2500×550×560	280
S3SX-400	ϕ400×40	1880	2450×550×650	250

表7-24　手提式砂轮机规格

型号名称	主要技术规格		外形尺寸 (长/mm)×(宽/mm)×(高/mm)	重量 /kg
	砂轮尺寸 (外径/mm)×(宽度/mm)	转速 /(r/min)		
S35R-100 软轴式	ϕ100×20	2800	400×220×275	18
S35R-150 软轴式	ϕ150×20	2800	500×410×460	45
S35R-200 软轴式	ϕ200×20	2800	500×410×480	50

（2）砂轮机打磨操作

1）铸件的材质越硬，砂轮应当越软；反之，铸件的材质越软，砂轮应当越硬。

2）打磨前，应用木锤轻击砂轮，如声音清脆，可使用；如声音破杂，则砂轮有裂纹，应停止使用，进行更换。

3）砂轮机开动后，待转速稳定时才可打磨，砂轮机圆周速度控制在25～30m/s。

4）应在砂轮外圆中间打磨铸件，不可用力过大，不可碰撞，发现异常声音，立即停机检查。消除故障后方可继续使用。

5）使用手提砂轮机时，要注意磨削方向，以防迷眼。不可放在地面上，以免砂

子进入。不可放在潮湿和有腐蚀性或易爆性的气体环境中，以免电动机绝缘腐蚀和引起爆炸危险。

6）要经常维护保养。砂轮片磨损到一定程度应及时更换。更换时拧紧螺母用力要均匀，以防砂轮破裂。

7.3　铸件缺陷分类

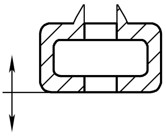
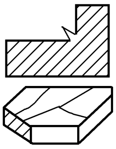
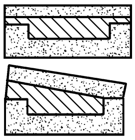
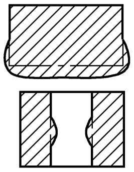
铸件缺陷的存在，是导致铸件性能低下，使用寿命短、报废和失效的重要原因。铸件缺陷的修补、报废等所造成的经济损失，一般要占铸造厂总产值的 5% ~10%。因此，铸件有了缺陷，组织人员进行讨论，分析缺陷的形貌、特点、产生原因及其形成过程，采取切实可行的有效措施，以杜绝此类缺陷再次出现，对提高铸件质量，提高经济效益，都是十分重要的。

GB/T 5611—1998《铸造术语》将铸件缺陷分为 8 类 52 种。

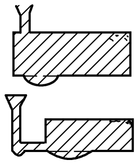
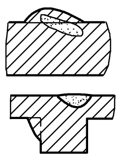
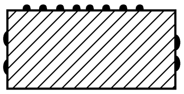
7.3.1　多肉类缺陷

多肉类缺陷的名称、特征见表 7-25。

表 7-25　多肉类缺陷的名称、特征（GB/T 5611—1998）

序号	名称	简　图	特　征
1	飞翅（飞边）		垂直于铸件表面上厚薄不均匀的薄片状金属突起物 常出现在铸件分型面和芯头部位
2	毛刺		铸件表面上刺状金属突起。常出现在砂型和砂芯的裂缝处，形状极不规则。呈网状或脉状分布的毛刺称脉纹
3	抬型（抬箱）		由于金属液的浮力使上型或砂芯局部或全部抬起，使铸件高度增加
4	胀砂		铸件内、外表面局部胀大，重量增加

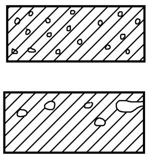
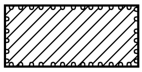
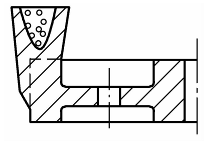
（续）

序号	名称	简　　图	特　　　　征
5	冲砂		砂型或砂芯表面局部砂子被金属液冲刷掉，在铸件表面的相应部位上形成粗糙、不规则的金属瘤状物，常位于浇注系统附近。被冲刷掉的砂子，往往在铸件的其他部位形成砂眼
6	掉砂		砂型或砂芯的局部砂块在机械力作用下掉落，在铸件表面的相应部位形成的块状金属突起物。其外形与掉落的砂块很相似。在铸件其他部位则往往出现砂眼或残缺
7	外渗物（外渗豆）		铸件表面渗出来的金属物多呈豆粒状，一般出现在铸件的自由表面上，如明浇铸件的上表面，离心浇注铸件的内表面等。其化学成分与铸件金属往往有差异

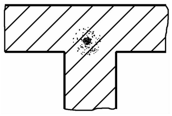
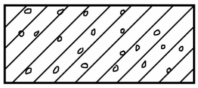
7.3.2　空洞类缺陷

空洞类缺陷的名称、特征见表 7-26。

表 7-26　孔洞类缺陷的名称、特征（GB/T 5611—1998）

序号	名称	简　　图	特　　　　征
1	气孔		铸件的内部、表面或近于表面处有大小不等的孔洞，表面一般比较光滑，主要为梨形、圆形、椭圆形。它们一般不在铸件表面露出，大孔常孤立存在，小孔则成群出现
2	针孔		一般为在铸件表层成群出现的针头大小的小孔，铸件表面在机械加工到 1 ~ 2mm 后可以去掉的圆孔称为表面针孔，在机械加工或热处理后才能发现的称皮下气孔
3	缩孔		铸件在凝固过程中，由于补缩不良而产生的孔洞，形状极不规则，孔壁粗糙并带有枝状晶，常出现在铸件最后凝固的部位

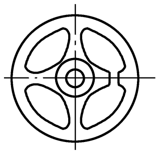
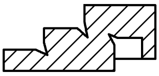
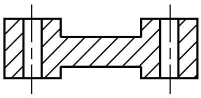
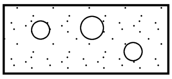
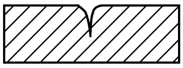
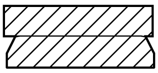
（续）

序号	名称	简　　图	特　　　　征
4	缩松		铸件断面上出现的分散而细小的缩孔，有时借助放大镜才能发现。铸件有缩松缺陷的部位，在气密性试验时可能渗漏
5	疏松（显微缩松）		铸件缓慢凝固区出现的很细小的孔洞

7.3.3　裂纹、冷隔类缺陷

裂纹、冷隔类缺陷的名称、特征见表 7-27。

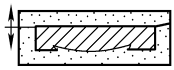
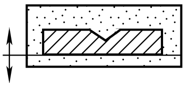
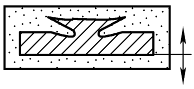
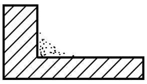
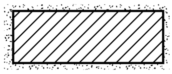
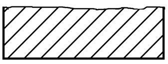
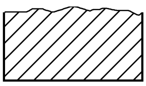
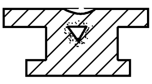
表 7-27　裂纹、冷隔类缺陷的名称、特征（GB/T 5611—1998）

序号	名称	简　　图	特　　　　征
1	冷裂		容易发现的长条形而且宽度均匀的裂纹。裂纹常常穿过晶粒而延伸到整个断面
2	热裂		断面严重氧化，无金属光泽，裂口沿晶粒边界产生和发展，外形曲折而不规则的裂纹
3	热处理裂纹		铸件在热处理过程中，出现的穿透或不穿透的裂纹。其断口有氧化现象
4	白点（发裂）		钢中主要因氢的析出而引起的缺陷。在纵向断面上，它呈现近似圆形或椭圆形的银白色斑点，故称白点。在横断面宏观磨片上，腐蚀后则呈现为毛细裂纹，故又称发裂
5	冷隔		在铸件上穿透或不穿透，边缘呈圆角状的缝隙。多出现在远离浇注系统的宽大上表面或薄壁处，金属流汇合处、激冷部位等
6	浇注断流		铸件表面某一高度可见的接缝。接缝的某些部分接合不好或分开

7.3.4　表面缺陷

表面类缺陷的名称、特征见表 7-28。

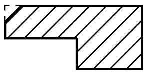
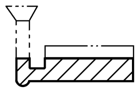
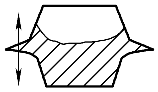
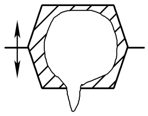
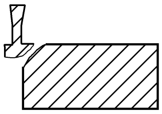
表 7-28　表面类缺陷的名称、特征（GB/T 5611—1998）

序号	名称	简　图	特　　征
1	鼠尾		铸件表面出现较浅（≤5mm）的带有锐角的凹痕
2	沟槽		铸件表面产生较深（＞5mm）的边缘光滑的 V 形凹痕。通常有分枝，多发生在铸件的上、下表面
3	夹砂结疤 （夹砂）		铸件表面产生的疤片状金属突起物。其表面粗糙、边缘锐利，有一小部分金属和铸件本体相连，疤片状突起物与铸件之间有砂层
4	机械粘砂 （渗透粘砂）		铸件的部分或整个表面上，粘附着一层砂粒和金属的机械混和物。清铲粘砂层时可以看到金属光泽
5	化学粘砂 （烧结粘砂）		铸件的部分表面或整个表面上，牢固地粘附一层由金属氧化物、砂子和粘土相互作用而生成的低熔点化合物。硬度高，只能用砂轮磨去
6	表面粗糙		铸件表面粗糙、凹凸不平。但未与砂粒结合或化合
7	皱皮		铸件上不规则的粗粒状或皱褶状的表皮。一般带有较深的网状沟槽
8	缩陷		铸件厚断面或断面交接处上平面的塌陷现象，缩陷的下面有时有缩孔。缩陷有时也出现在内缩孔附近的表面

7.3.5　残缺类缺陷

残缺类缺陷的名称、特征见表 7-29。

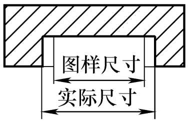
表 7-29　残缺类缺陷的名称、特征（GB/T 5611—1998）

序号	名称	简　图	特　　征
1	浇不到		铸件残缺，或轮廓不完整，或轮廓完整但边角圆且亮。常出现在远离浇注的部位及薄壁处。其浇注系统是充满的
2	未浇满		铸件上部产生缺肉，其边角略呈圆形，浇冒口顶面与铸件平齐
3	跑火		铸件分型面以上的部分产生严重凹陷。有时会沿未充满的型腔表面留下类似飞翅的残片
4	型漏（漏箱）		铸件内有严重的空壳状残缺。有时铸件外形虽较完整，但内部的金属已漏空，铸件完全呈壳状，铸型底部有残留的多余金属
5	损伤		铸件受机械撞击而破损、残缺不完整的现象

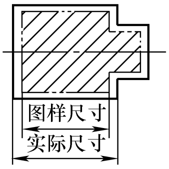
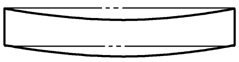
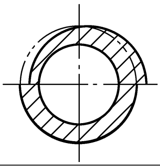
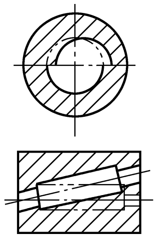
7.3.6　形状及重量差错类缺陷

形状及重量差错类缺陷的名称、特征见表 7-30。

表 7-30　形状及重量差错类缺陷的名称、特征（GB/T 5611—1998）

序号	名称	简　图	特　　征
1	拉长		铸件的部分尺寸比图样尺寸大。由于凝固收缩时铸型阻力大而造成

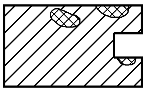
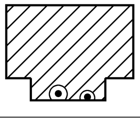
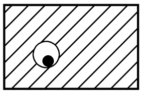
（续）

序号	名称	简　图	特　征
2	超重		铸件的重量超出允许偏差的上限
3	变形		铸件由于铸造或热处理冷却速度不一、收缩不均或由于模样与铸型形状发生变化等原因，造成几何形状与图样不符
4	错型（错箱）		铸件的一部分与另一部分在分型面处相互错开
5	偏芯（漂芯）		由于砂芯在金属液的作用下漂浮移动，铸件内孔位置偏错，使形状、尺寸不符合要求

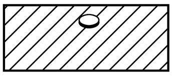
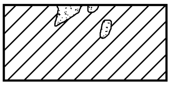
7.3.7　夹杂类缺陷

夹杂类缺陷的名称、特征见表7-31。

表7-31　夹杂类缺陷的名称、特征（GB/T 5611—1998）

序号	名称	简　图	特　征
1	夹杂物		铸件内或表面上存在的和基体金属成分不同的质点。包括渣、砂、涂料层氧化物、硫化物、硅砂盐等
2	冷豆		浇注位置下方存在于铸件表面的金属珠。其化学成分与铸件相同，表面有氧化现象
3	内渗物（内渗豆）		铸件孔洞缺陷内部带有光泽的豆粒状金属渗出物。其化学成分和铸件本体不一致，接近共晶成分

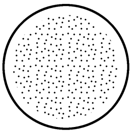
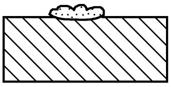
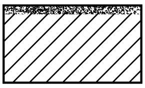
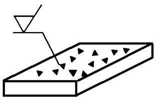
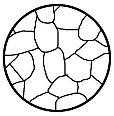
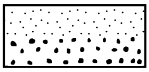
（续）

序号	名称	简　　图	特　　　　征
4	渣气孔		铸件浇注位置上表面的非金属夹杂物。通常在加工后发现与气孔并存，孔径大小不一，成群集结
5	砂眼		铸件内部或表面带有砂粒的孔洞

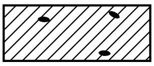
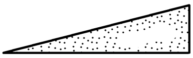
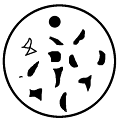
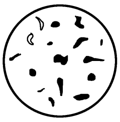
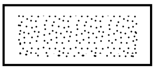
7.3.8　性能、成分、组织不合格

性能、成分、组织不合格的名称、特征见表 7-32。

表 7-32　性能、成分、组织不合格的名称、特征（GB/T 5611—1998）

序号	名称	简　　图	特　　　　征
1	亮皮		在铁素体可锻铸铁的断面上，存在的清晰发亮的边缘。缺陷层主要是由少量回火珠光体组成。回火碳有时包有铁素体壳
2	菜花头		由于溶解气体析出，铸件最后凝固处或冒口表面鼓出的现象。有的是起泡或重皮，常由形成密度比铸件小的新相所造成
3	石墨漂浮		在球墨铸铁件纵断面的上部，一层密集的石墨黑斑，和正常的银白色断面组织相比，有清晰可见的分界线。金相组织特征为石墨球破裂，同时氧化区富有含氧化合物和硫化镁
4	石墨结集		在加工大断面铸铁件时，表面上充满石墨粉且边缘粗糙的部位，石墨集结处硬度低且渗漏
5	组织粗大		铸件内部晶粒粗大，加工后表面硬度偏低；渗漏试验时，会发生渗漏现象
6	偏析		铸件或铸锭各部分化学成分、金相组织不一致的现象

（续）

序号	名称	简　　图	特　　　征
7	硬点		在铸件的断面上出现分散的或较大的硬质夹杂物，多在机械加工或表面处理时发现
8	反白口		灰铸铁件断面的中心部位出现白口组织或麻口组织，外层是正常的灰口组织
9	球化不良		在球墨铸铁的断面上有块状黑斑，或明显的小黑点，越近中心越密的现象，其金相组织有较多的厚片状石墨或枝晶间石墨
10	球化衰退		球墨铸铁试块或铸件断面组织变粗，力学性能低下的现象，金相组织由球状转为团絮状石墨，进而出现厚片状石墨
11	脱碳		铸钢或铸铁件表层有脱碳层或含碳量降低的现象

7.4　铸件缺陷的修补

铸件缺陷，凡是经修补后可以达到技术要求及用户要求的，一般应修补回用。凡是经修补后仍不能达到技术要求或虽能达到要求但经济上极不合算时，应报废。

常用的铸件修补方法有：焊补法、环氧树脂粘补法、浸渍法、腻子填补法等。其中，焊补法具有经济、可靠等优点，应用最为广泛。

7.4.1　焊条电弧焊焊补

1. 铸钢件缺陷的焊补

（1）焊前准备技术要求

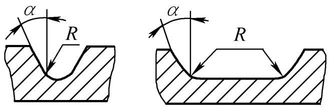
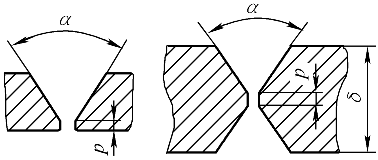
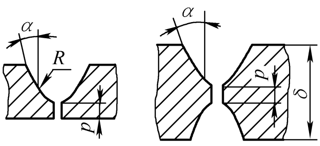
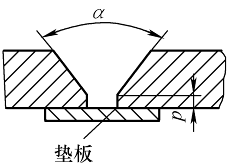
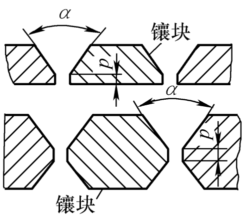
1）缺陷清理和坡口形式。焊补前，必须将缺陷彻底清除，根据铸钢件缺陷情况，对焊补区缺陷可采用铲挖、磨削、碳弧气刨、气割或机械加工等方法清除。坡口面应修得平整圆滑，不得有尖角存在。焊补区及坡口周围20mm以内的粘砂、油、水、锈等脏物，必须彻底清除。对焊接性差的铸钢件，当采用碳弧气刨或气割清理缺陷时，应先按表7-34预热，再清理缺陷。碳弧气刨后须打磨去除增碳层。对裂纹性

缺陷，为防止裂纹扩展，可以在裂纹两端钻直径不小于 10mm 的止裂孔后，再开坡口。

在焊补前，应采用磁粉探伤法或液体渗透法，按有关规定对铸钢件焊补部位进行检验，以证实缺陷被完全清除。

坡口的形式见表 7-33。

表 7-33　坡口形式（JB/T 5000.7—2007）

缺陷	焊缝名称	坡口	
		形式	尺寸
未穿透性裂纹或孔穴	U 形或方形、圆形		$\alpha = 10° \sim 15°$ $R = 6 \sim 8$mm
穿透性裂纹	钝边 V 形或钝边 X 形		$\alpha = 60° \pm 5°$ $p = 2 \sim 4$mm $\delta < 70$mm
	U 形或双 U 形		$\alpha = 10° \sim 15°$ $p = 2 \sim 4$mm $R = 6 \sim 8$mm $\delta \geqslant 70$mm
穿透性裂纹或孔穴，破口间隙太大	带垫板钝边 V 形		$\alpha = 55° \pm 5°$ $p = 2 \sim 4$mm 垫板为同材质，或低碳钢板
尺寸较大的穿透性缺陷	带镶块的钝边 V 形或钝边 X 形		$\alpha = 60° \pm 5°$ $p = 2 \sim 4$mm 镶块采用同材质铸件

2）焊前预热。焊前预热可采用整体预热，也可采用局部预热。局部预热时，缺陷处每边预热范围的宽度应不小于焊补部位铸钢件壁厚的两倍，并不得小于75mm。在焊补的全过程中，铸钢件预热区的温度不得低于表7-34中规定的预热温度的下限。

表7-34　铸钢件焊补的预热温度（JB/T 5000.7—2007）

类型	铸钢牌号	预热温度/℃	说　明
碳素铸钢	ZG200-400	—	不预热
	ZG230-450	—	
	ZG270-500	100～150	一般不预热，形状复杂、缺陷大、刚度大时，需预热
	ZG310-570	—	裂纹倾向大，严格控制温度
	ZG340-640	200～350	
低合金铸钢	ZG20Mn	150～200	严格控制温度
	ZG30Mn	200～250	裂纹倾向大，严格控制温度
	ZG35Mn	200～250	
	ZG40Mn	250～300	
	ZG40Mn2	250～300	
	ZG50Mn2	300～450	
	ZG35SiMnMo	250～350	
	ZG35CrMnSi	250～350	
	ZG20MnMo	150～200	严格控制温度
	ZG55CrMnMo	350～450	焊接性能差，须严格控制温度
	ZG40Cr1	350～450	焊接性能差，须严格控制温度
	ZG34Cr2Ni2Mo	350～450	
	ZG17CrMo	250～350	裂纹倾向大，严格控制温度
	ZG15Cr1Mo1V		
	ZG20CrMo		
	ZG35Cr1Mo		
	ZG42Cr1Mo	350～450	焊接性能差，须严格控制温度
	ZG50Cr1Mo		
	ZG28NiCrMo	250～300	裂纹倾向大，严格控制温度
	ZG30NiCrMo	300～350	
	ZG35NiCrMo		
高锰钢	ZGMn13-1	—	不预热，在水韧处理后焊补
	ZGMn13-2	—	
	ZGMn13-3	—	
	ZGMn13-4	—	

注：1. 对表以外钢种的预热温度，按以下经验公式计算：$T=360CE$。式中 T 为预热温度（℃），CE为碳当量（质量分数,%）。$CE=w(C)+w(Mn)/6+w(Cr+Mo+V)/5+w(Ni+Cu)/15$。

2. CE<0.4%的铸钢件一般不预热。但焊补重要铸钢件，或铸钢件刚性很大时，或车间作业环境的温度不高于10℃时，应预热到100～150℃后再进行焊补。

3. 预热温度应在距焊补区熔合线外热影响区一侧75～100mm处测定。

3）不宜在空气对流的场所进行焊补，室温不低于 10℃。

4）焊条选择及使用。铸钢件焊补用焊条见表 7-35。

表 7-35　铸钢件焊补用焊条（JB/T 5000.7—2007）

<table>
<tr><th rowspan="2">分类</th><th rowspan="2">铸钢牌号</th><th colspan="2">不要求等强度</th><th colspan="2">要求等强度</th></tr>
<tr><th>焊条型号（国标）</th><th>焊条牌号</th><th>焊条型号（国标）</th><th>焊条牌号</th></tr>
<tr><td rowspan="5">碳素铸钢</td><td>ZG200-400</td><td rowspan="2">E4303</td><td rowspan="2">J422</td><td rowspan="2">E4303、E4315</td><td rowspan="2">J422、J427</td></tr>
<tr><td>ZG230-450</td></tr>
<tr><td>ZG270-500</td><td>E4303、E4315</td><td>J422、J427</td><td>E5016、E5015</td><td>J506、J507</td></tr>
<tr><td>ZG310-570</td><td rowspan="2">E5016、E5015</td><td rowspan="2">J506、J507</td><td>E5516-G、E5515-G</td><td>J556、J557</td></tr>
<tr><td>ZG340-640</td><td>E6016-D1、E6015-D1</td><td>J606、J607</td></tr>
<tr><td rowspan="23">低合金铸钢</td><td>ZG30Mn</td><td rowspan="3">E5016、E5015</td><td rowspan="3">J506、J507</td><td>E5516-G、E5515-G</td><td>J556、J557</td></tr>
<tr><td>ZG40Mn</td><td rowspan="2">E6016-D1、E6015-D1</td><td rowspan="2">J606、J607</td></tr>
<tr><td>ZG40Mn2</td></tr>
<tr><td>ZG40Mn2①</td><td rowspan="2">E6016-D1、E6015-D1</td><td rowspan="2">J606、J607</td><td rowspan="2">E7715-G</td><td rowspan="2">J757</td></tr>
<tr><td>ZG50Mn2</td></tr>
<tr><td>ZG20Mn</td><td>E4303、E4315</td><td>J422、J427</td><td>E5016、E5015</td><td>J506、J507</td></tr>
<tr><td>ZG35Mn</td><td rowspan="2">E5016、E5015</td><td rowspan="2">J506、J507</td><td rowspan="2">E6016-D1、E6015-D1</td><td rowspan="2">J606、J607</td></tr>
<tr><td>ZG35SiMnMo</td></tr>
<tr><td>ZG35SiMnMo①</td><td>E6016-D1、E6015-D1</td><td>J606、J607</td><td rowspan="2">E7015-D2</td><td rowspan="2">J707</td></tr>
<tr><td>ZG35CrMnSi</td><td>E5016、E5015</td><td>J506、J507</td></tr>
<tr><td>ZG20MnMo</td><td>E4316、E4315</td><td>J426、J427</td><td>E5016、E5015</td><td>J506、J507</td></tr>
<tr><td>ZG55CrMnMo</td><td>EDRCrMnMo-15</td><td>D397</td><td>EDRCrMnMo-15</td><td>D397</td></tr>
<tr><td>ZG40Cr1</td><td>E5016、E5015</td><td>J506、J507</td><td>E6016-D1、E6015-D1</td><td>J606、J607</td></tr>
<tr><td>ZG34Cr2Ni2Mo</td><td>D7015-D2、E7515-G</td><td>J707、J757</td><td>E8515-G</td><td>J857、J857Cr</td></tr>
<tr><td>ZG20CrMo</td><td rowspan="3">E5515-B2</td><td rowspan="3">R307</td><td rowspan="3">E5515-B2</td><td rowspan="3">R307</td></tr>
<tr><td>ZG17Cr1Mo</td></tr>
<tr><td>ZG15Cr1Mo1V</td></tr>
<tr><td>ZG35Cr1Mo</td><td rowspan="3">E5016、E6016-D1</td><td rowspan="3">J506、J606</td><td rowspan="3">E7015-D2</td><td rowspan="3">J707</td></tr>
<tr><td>ZG42Cr1Mo</td></tr>
<tr><td>ZG50Cr1Mo</td></tr>
<tr><td>ZG28NiCrMo</td><td>E5016、E5015</td><td>J506、J507</td><td>E6016-D1、E6015-D1</td><td>J606、J607</td></tr>
<tr><td>ZG30NiCrMo</td><td rowspan="2">E5016、E6016-D1</td><td rowspan="2">J506、J606</td><td>E7015-D2</td><td>J707</td></tr>
<tr><td>ZG35NiCrMo</td><td>E7515-G</td><td>J757、J757Ni</td></tr>
<tr><td rowspan="2">高锰钢</td><td>ZGMn13-1</td><td rowspan="2">EDMn-A-16
EDMn-B-16</td><td rowspan="2">D256、D266</td><td rowspan="2">EDMn-A-16
EDMn-B-16</td><td rowspan="2">D256
D266</td></tr>
<tr><td>ZGMn13-2</td></tr>
</table>

（续）

分类	铸钢牌号	不要求等强度		要求等强度	
		焊条型号（国标）	焊条牌号	焊条型号（国标）	焊条牌号
高锰钢	ZGMn13-3	EDMn-A-16	D256、D266	EDMn-A-16	D256
	ZGMn13-4	EDMn-B-16		EDMn-B-16	D266

注：1. 用于铸钢件缺陷焊补的焊条应符合 GB/T 5117—1995、GB/T 5118—1995、JB/T 3223—1996 标准的规定。

2. 焊条在使用前必须烘干，酸性焊条应在 75～150℃烘干 12h；碱性低氢型结构钢焊条应在 350～400℃烘干 12h。烘干的焊条应放在 100～150℃保温桶（箱）内，随用随取。

3. 低氢型焊条在常温下放置超过 4h，应重新烘干。重复烘干的次数不宜超过三次。

① 热处理为调质状态。

（2）补焊技术要求

1）焊工必须在取得指定部门的资格认证后才能进行操作。

2）铸钢件缺陷的焊补，应在消除铸造应力后进行。

3）缺陷允许焊补的范围，应按图样或订货技术条件等有关规定执行。

4）在条件许可的情况下，应在水平位置施焊。

5）焊补工作在条件许可的情况下，应连续进行。若在不得已中断时，必须采取保温措施。再次补焊时，应符合表 7-34 的规定。

6）焊补时，焊条不应作过大的横向摆动，摆动幅度不得超过焊条直径的 3 倍。长的焊缝应分段、交错焊接，以减少变形应力。

7）焊补过程中，若发现裂纹、未熔合、夹渣、气孔等影响质量的缺陷时，应报告质量检查员，并采取措施清除缺陷，在确认缺陷已被清除后，才能继续焊补。

8）铸钢件表面堆焊时，焊道间的重叠量不得小于焊道宽度的 1/3。

9）焊补刚性大的铸钢件，或多层施焊时，除第一层和最后一层外，其余各层每焊一道都应用平圆头风铲适度锤击。

（3）焊后热处理

1）当铸钢件焊补部位的坡口深度超过所在部位壁厚的 20% 或 25mm（以两者中最小者为准）时，焊补后均应进行消除应力退火。

2）有必要时，可以在焊补到坡口深度的 1/3～1/2 处时进行一次中间消除应力退火，消除应力退火后继续焊满坡口，最后再做一次消除应力退火。

3）根据铸钢件材质、结构及缺陷等因素，必要时在焊后应立即入炉进行消除应力退火。

4）整体入炉消除应力退火，应保留自动记录曲线。

（4）检验

1）检验人员应按标准（JB/T 5000.7—2007）的规定对焊补区缺陷的清理、坡口情况、焊工资格以及焊条烘干情况进行检查，经检查合格后才能焊补。

2）焊补后，焊接部位应符合图样和技术要求规定，并按铸钢件相同的标准进行

检验。

3）对铸钢件重大缺陷的焊补，必须有焊补技术记录。

4）特殊材料铸件的焊补，焊前应作焊补试验，订出焊补工艺，焊补试样合格后才能焊补。

5）$w(\mathrm{C}) > 0.4\%$ 的碳钢铸件和合金钢铸件，缺陷焊补必须在退火后进行。$w(\mathrm{C}) < 0.4\%$ 的一般碳钢铸件，缺陷焊补可在退火前进行。

6）当所用的焊条强度大于 500MPa 时，必须使用直流电焊机进行焊补。焊补时电流的大小见表 7-36。

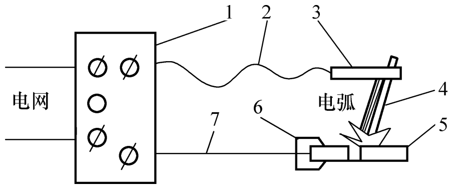
表 7-36　铸钢件焊补的焊接电流（JB/T 5000.7—2007）

序号	电焊条类型	电焊条直径/mm			
		2.5	3.2	4.0	5.0
		电流/A			
1	珠光体耐热钢焊条	60 ~ 90	90 ~ 120	140 ~ 190	190 ~ 220
2	奥氏体不锈钢焊条	50 ~ 80	80 ~ 100	110 ~ 150	160 ~ 250
3	结构钢酸性焊条	50 ~ 80	100 ~ 130	160 ~ 210	200 ~ 270
4	堆焊焊条	60 ~ 100	80 ~ 140	130 ~ 190	190 ~ 240
5	铬不锈钢焊条	—	80 ~ 120	120 ~ 160	160 ~ 240

2. 铸铁件缺陷的焊补

（1）主要设备及工具　铸铁件电焊焊补主要设备及工具见表 7-37。

表 7-37　铸铁件焊补设备及工具

<table>
<tr><td>焊条电弧焊补装置图</td><td colspan="3">

1—焊机　2—电缆　3—焊钳　4—焊条　5—焊件　6—线夹　7—地线</td></tr>
<tr><td rowspan="3">设备</td><td rowspan="3">电焊机</td><td colspan="2">交流弧焊机</td></tr>
<tr><td rowspan="2">直流弧焊机</td><td>旋转式直流焊机</td></tr>
<tr><td>硅整流式直流焊机</td></tr>
<tr><td rowspan="6">工具</td><td>1</td><td>焊钳</td><td>有 300A、500A 两种</td></tr>
<tr><td>2</td><td>面罩</td><td>有头戴式、手拿式、有机玻璃面罩三种</td></tr>
<tr><td>3</td><td>导线</td><td>有橡胶套电缆、特软电缆两类</td></tr>
<tr><td>4</td><td>熔丝</td><td>有直流焊机熔丝、交流焊机熔丝两种</td></tr>
<tr><td>5</td><td>清理工具</td><td>有清渣锤、钢丝刷</td></tr>
<tr><td>6</td><td>劳保用品</td><td></td></tr>
</table>

（2）铸铁件焊补方法的类型及应用　见表7-38。

表7-38　铸铁件焊补方法的类型及应用

序号	焊补方法	特　点	应　　用
1	冷焊	焊前，铸件不预热，或低温（<400℃）预热	1）主要用于焊补非加工面上的缺陷 2）一般采用非铸铁焊条。焊缝强度和颜色与铸件本体不同。机械加工性差 3）采用镍基合金焊条，焊后铸件能机械加工 4）采用铸铁焊条，焊缝强度、硬度、颜色与铸件本体相近。焊后能机械加工。焊补时应大电流操作，严格执行工艺，以免焊后铸件裂纹，尤其是焊区周围刚度大的铸件
2	半热焊	焊前，将铸件整体或局部预热到400℃左右	1）主要用于非加工面或要求不高的加工面上缺陷的焊补 2）焊条采用钢芯石墨化铸铁焊条。焊缝强度与铸件本体相近。但焊后加工性能不稳定
3	热焊	焊前，将铸件整体或局部预热到500～700℃，焊后保温缓冷	1）主要用于焊补焊后仍需加工的铸件表面缺陷，尤其是缺陷周围刚度大的铸件 2）采用铸铁焊条。焊缝强度、硬度、颜色与铸件本体基本相同。焊后不开裂，可进行机械加工

（3）铸铁件焊补用电焊条　焊补铸铁件的电焊条选用见表7-39。电焊条规格见表7-40。

表7-39　焊补铸铁件的电焊条选用

序号	焊　件　特　点		供选择的焊条型号
1	灰铸铁	焊后不机械加工	J422、Z100、Z208、Z607
		焊后需机械加工	Z116、Z117、Z248、Z308、Z408、Z508、Z616
2	高强度铸铁	焊后需机械加工	Z116、Z117、Z408
3	球墨铸铁	焊后需机械加工	Z238、Z408、Z116、Z117
4	可锻铸铁	焊后不机械加工	J422、J423、Z228
5	耐热铸铁	焊后不机械加工	Z218

表7-40　电弧冷焊铸铁件用电焊条规格

名称	牌号	直径/mm	焊芯材料	药皮类型	电源	焊接特点	应用
钢芯铸铁焊条	Z100	3.2、4.0、5.0	碳素钢	氧化型	交流或直流	焊件预热温度>400℃，焊后缓冷，小电流施焊	普通灰铸铁非加工面焊补
高钒铸铁焊条	Z116	2.0、2.5、3.2、4.0	高钒钢 $w(V)\approx11\%$	低氢型		不预热，小电流，多层焊	高强度灰铸铁和球墨铸铁件焊补
	Z117				直流		

（续）

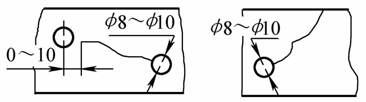
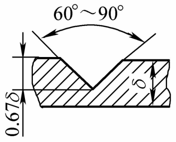
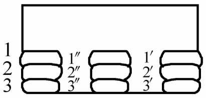
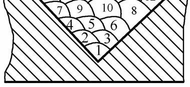
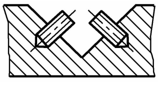
名称	牌号	直径/mm	焊芯材料	药皮类型	电源	焊接特点	应用
钢芯铸铁焊条	Z122Fe		碳素钢	铁粉钛钙型		采用冷焊工艺，不易裂	普通灰铸铁件非加工面焊补
钢芯铸铁焊条	Z208	3.2、4.0、5.0	碳素钢	石墨型	交流或直流	预热 400℃，焊后缓冷	普通灰铸铁件焊补
钢芯高硅耐热铸铁焊条	Z218	3.2、4.0、5.0	碳素钢	石墨型	交流或直流	预热 400℃，焊后缓冷	耐热铸铁件焊补
钢芯可锻铸铁焊条	Z228	3.2、4.0、5.0	碳素钢	石墨型	交流或直流	预热 400℃，焊后缓冷	可锻铸铁件焊补
钢芯球墨铸铁焊条	Z238	3.2、4.0、5.0	碳素钢	石墨型	交流或直流	预热 500℃，焊后缓冷，并经正火或退火	球墨铸铁件焊补
	Z238SnCu					大型铸件应预热，缓冷，连续分段焊补	球墨铸铁件焊补
	Z238F					大电流，正极性施焊，大件应预热	球墨铸铁及高强度灰铸铁件焊补
铸铁芯铸铁焊条	Z248	4~8	灰铸铁	石墨型	交流或直流	预热 500℃，焊后缓冷，并经正火或退火	较大灰铸铁件焊补
	Z258		灰铸铁	石墨型		冷焊采用较大电流，连续施焊，缓冷	
纯镍铸铁焊条	Z308	2.5、3.2、4.0	w(Ni)≥90%	石墨型	交流或直流	不预热，焊后锤击以减少应力	薄壁铸铁件及需加工部位的焊补
镍铁铸铁焊条	Z408	2.5、3.2、4.0	镍铁合金 w(Ni)=40%~60%	石墨型	交流或直流	不预热，或稍加预热（200℃）	重要的高强度灰铸铁件及球墨铸铁件焊补
	Z408A		镍铁合金 w(Ni)=45%~60%			焊接工艺性良好，焊条不发红，熔合性能好	
	Z438			石墨型		焊后锤击焊补区	球墨铸铁件和高强度铸铁件的焊补

（续）

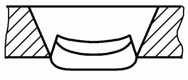
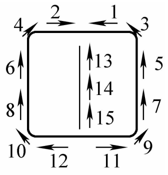
名称	牌号	直径/mm	焊芯材料	药皮类型	电源	焊接特点	应用
镍铜铸铁焊条	Z508	2.5、3.2、4.0	镍铜合金	石墨型	交流或直流	不预热，焊道要窄，每次焊道长度 <50mm，焊后锤击以减少应力	强度要求不高的灰铸铁件焊补
铜铁铸铁焊条	Z607	2.5、3.2、4.0	(Fe)≈30% Cu 余量	低氢型	直流	不预热，或预热300℃ 多层焊时成形不良，易产生气孔，焊后锤击	普通灰铸铁件非加工面焊补
	Z616	3.2	铜芯铁皮		交流或直流		
	Z612		(Fe)≤30% Cu 余量	钛钙型		不预热，焊后轻轻锤击	

（4）冷焊操作　见表7-41。

表7-41　铸铁焊补的冷焊操作

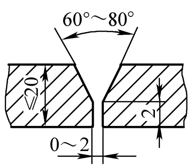
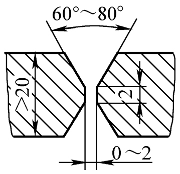
焊前准备	1）将焊补处的油污、锈斑，用碱水、汽油擦洗或用气焊火焰清除 2）缺陷是裂纹，应钻止裂孔（图a） 3）缺陷较深时，应加工出V形或X形焊接坡口（图b） 4）焊条必须在100～200℃下烘干2h		 a)  b)
冷焊操作	1）引弧	采用短段、断续、分散焊	
	2）厚壁焊件	采用多层冷焊。1～16为焊接顺序	
	3）焊缝强度要求高的焊件	采用栽丝法冷焊	

（续）

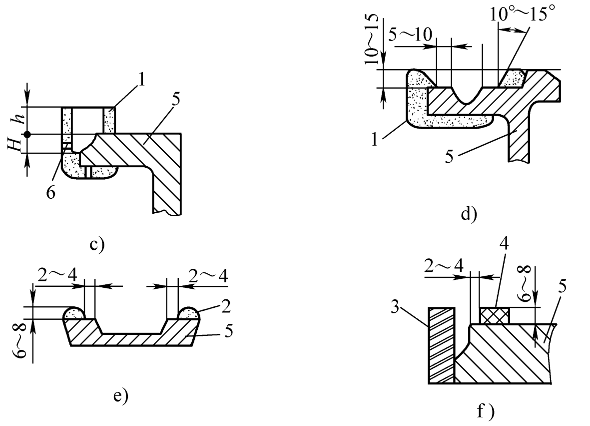
<table>
<tr><td rowspan="10">冷焊操作</td><td rowspan="2">4）在一处有多道裂纹的焊件</td><td colspan="4">挖除缺陷，采用镶块的方法冷焊。用低碳钢板作镶块。可作成凹鼓形镶块，焊后焊缝收缩可将它拉平</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="4">也可作成平板镶块，平板中间开出一条缝隙，减少焊缝中的应力。1 ~ 15 为焊接顺序</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="7">5）焊条直径与电流配合及选用</td><td>铸件壁厚/mm</td><td><4</td><td>4 ~ 6</td><td>5 ~ 20</td><td>10 ~ 30</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>焊条直径/mm</td><td>2</td><td>2.5</td><td>3.2</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr>
<tr><td>焊条类型</td><td colspan="8">焊接电流/A</td></tr>
<tr><td>钢芯铸铁焊条</td><td>—</td><td>—</td><td>80 ~ 100</td><td>100 ~ 120</td><td>130 ~ 150</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>高钒铸铁焊条</td><td>40 ~ 60</td><td>60 ~ 80</td><td>80 ~ 120</td><td>120 ~ 160</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>钢铁铸铁焊条</td><td>—</td><td>90 ~ 100</td><td>100 ~ 120</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>镍基铸铁焊条</td><td>—</td><td>70 ~ 100</td><td>90 ~ 110</td><td>120 ~ 150</td><td>160 ~ 190</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>铸铁芯铸铁焊条</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>200 ~ 280</td><td>250 ~ 350</td><td>300 ~ 420</td><td>350 ~ 490</td><td>400 ~ 560</td></tr>
<tr><td colspan="10">6. 缺陷填满，冷至红热状态，用锤击，减少焊缝应力，焊后保温缓冷</td></tr>
</table>

（5）热焊操作　铸铁件热焊操作见表 7-42。

表 7-42　铸铁件热焊操作

<table>
<tr><td rowspan="2">焊钳准备</td><td>1. 缺陷清理</td><td>用风铲、扁铲、砂轮，将缺陷处清理干净</td></tr>
<tr><td>2. 制作坡口</td><td>缺陷处开出夹角 60° ~ 80°的坡口，使焊条能深入缺陷底部施焊，防止未焊透或夹渣（图 a、b）

a)

b)</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td rowspan="2">焊钳准备</td><td>3. 穿透缺陷与边角部位缺陷</td><td colspan="7">采用造型材料（质量分数为：焦炭粉 30%、耐火砖粉 25%、耐火土 25%、石墨粉 20%）或黄泥、石墨板、耐火砖造型（图 c、d、e、f）


1—砂型　2—泥条　3—耐火砖　4—石墨板　5—铸件　6—出铁口</td></tr>
<tr><td>4. 焊件预热</td><td colspan="7"><table><tr><td>铸件类型</td><td>加热温度/℃</td><td>加热方式</td></tr><tr><td>小件</td><td>500</td><td>电弧，或气焊火焰</td></tr><tr><td>中件</td><td>500 ~ 550</td><td>木炭、煤气火焰、气焊火焰</td></tr><tr><td>大件</td><td>500 ~ 600</td><td>焦炭地炉鼓风</td></tr><tr><td>特大件</td><td>600 ~ 700</td><td>砖砌炉、焦炭地炉鼓风</td></tr></table></td></tr>
<tr><td rowspan="7">热焊操作</td><td>1. 引弧</td><td colspan="7">在缺陷的最低处开始引弧，引弧后焊条适当摆动</td></tr>
<tr><td>2. 维持适当弧长</td><td colspan="7">弧长过长，则石墨、硅铁烧损过多；弧长太短，则药皮不能熔化，易残留在熔池表面</td></tr>
<tr><td>3. 防止过热</td><td colspan="7">熔池出现铁液白亮耀眼或沸腾时，暂停施焊或投入焊芯残头降温，待熔池正常时继续施焊</td></tr>
<tr><td>4. 防止低温</td><td colspan="7">发现熔池有熔渣停滞，应拉长电弧指向熔渣，以使熔渣上浮而排除</td></tr>
<tr><td>5. 采用大电流</td><td colspan="7"><table><tr><td>铸铁芯直径/mm</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr><tr><td>焊接电流/A</td><td>200 ~ 240</td><td>250 ~ 300</td><td>300 ~ 360</td><td>350 ~ 420</td><td>400 ~ 480</td><td>450 ~ 540</td><td>500 ~ 600</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>6. 熄弧</td><td colspan="7">缺陷焊满后，拉长电弧，沿造型四周往复几圈使整个熔池填满，表面呈液态时，慢慢熄弧</td></tr>
<tr><td>7. 缓冷</td><td colspan="7">焊后进炉，或盖上保温材料缓冷</td></tr>
</table>

（6）半热焊操作　见表 7-43。

表 7-43　铸铁件的半热焊操作

<table>
<tr><td rowspan="2">焊前准备</td><td>1. 缺陷清理</td><td colspan="3">方法与热焊同</td></tr>
<tr><td>2. 预热</td><td colspan="3">缺陷部位预热 400℃左右</td></tr>
<tr><td rowspan="5">半热焊操作</td><td rowspan="2">1. 预热后立即大电流施焊</td><td>焊条牌号</td><td>焊条直径/mm</td><td>焊接电流/A</td></tr>
<tr><td>Z208</td><td>3.2
4.0
5.0</td><td>130～160
170～200
210～250</td></tr>
<tr><td>2. 弧长适宜</td><td colspan="3">一般为 6mm</td></tr>
<tr><td>3. 连续堆焊</td><td colspan="3">小缺陷可一次焊成；大缺陷可连续焊 3～4 层，每焊一层后迅速清渣，以防夹渣</td></tr>
<tr><td>4. 缓冷</td><td colspan="3">焊后用草木灰覆盖或石棉包裹，要求较高时，进炉缓冷</td></tr>
</table>

3. 铝合金铸件缺陷的焊补

1）铸件焊补必须严格按标准和技术条件进行。

2）铸件焊补一般使用与基体相同的填充金属，也可以由供需双方协商采用其他填充金属。

3）允许用焊补的方法修复任何缺陷，除设计部门规定不允许焊补的部位外，其他部位只要便于焊补、打磨和检验均可焊补。

4）凡经焊补的铸件应在焊补部位标记，或在有关技术文件中标注在示意图上，以备检验。

5）采用氩弧焊焊补铸件时，经扩修后允许焊补的面积、深度、个数和间距一般应符合表 7-44 的规定。

表 7-44　铝合金铸件焊补面积、深度、个数和间距规定（GB/T 9438—1999）

铸件种类	铸件表面积 /cm^2	焊补面积 /cm^2 ≤	焊补处数 /个 ≤	焊补最大深度 /mm	一个铸件上焊补总处数/个 ≤
小型件	<1000	10	3	—	3
中型件	1000～3000	10	3	—	5
		15	2	—	5
	3000～6000	10	4	—	10
		15	3	—	10
		20	2	10	10
		25	1	8	10
大型件	>6000	10	4	—	13
		15	4	—	13
		20	3	10	13
		25	2	8	1

6）同一焊补部位焊补次数不得超过3次。焊区边缘间距不得小于两相临焊区直径之和。

7）以热处理状态供应的铸件，焊补后需要按原规定状态进行热处理，并检验力学性能。当焊区面积小于2cm^2，焊区间距不小于100mm，经购买方同意，焊后可以不进行热处理，但一个铸件上不得多于5处。ZL301和ZL305合金铸件焊后一律按原状态进行热处理。

8）用肉眼或10倍以下放大镜、荧光等检验焊补表面质量，检验面积不小于焊补面积的两倍，焊区内不得有裂纹、缩孔、未焊透和未熔合等缺陷。

9）对焊区进行无损检测，检测面积不小于焊区面积的两倍，Ⅰ类铸件焊补部位全部检查，Ⅱ类铸件根据用户要求按一定比例抽检，焊区内不得有裂纹、未焊透和分层等内部缺陷，在任一焊区内允许有最大直径不大于2mm，且不超过壁厚1/3的气泡和夹渣3个（边距不小于10mm，直径小于0.5mm的分散气泡和夹渣不计）。面积不大于2cm^2，且不能用射线检查的焊区，经用户同意可以不进行射线检查。

4. 铜合金铸件缺陷的焊补

虽然铜合金有高的导热性、大的线胀系数和在高温下容易氧化和吸气等特点，给焊补工艺的实施带来一定的困难，但是由于焊补法能修补多种缺陷，且焊缝致密，能达到接近铸件本体的力学性能，因此铸件的焊补得到了较为普遍的应用。焊补法包括钎焊、熔焊和电阻焊，其中以熔焊用得最多。不同种类铜合金的焊接性能不同，因此应选用最适宜的焊接方法。

（1）铜合金铸件的焊补程序　见表7-45。

表7-45　铜合金铸件的焊补程序

序号	工序名称	主　要　内　容
1	确定焊补的位置	确定铸件缺陷的性质和焊补的部位
2	焊前准备	1）清铲，彼此相距较大的缺陷可分别清铲，密集的缺陷应将整个缺陷区清铲 2）焊补裂纹缺陷时，应在裂纹的两端打止裂孔 3）对较深的裂纹，推荐用U形坡口，根部半径为5～7mm，边角斜度为10°～20°；大型件采用双U形坡口，坡口应平滑，无毛刺 4）仔细清理焊补区域附近的金属屑、油污、泥砂、水迹、氧化物及其他污物；多层焊时应逐层仔细清理
3	选择焊接工艺	根据合金的焊接性能和焊补要求，选择合适的焊接工艺设备，若有多种工艺可以采用，应选择最经济的一种。对高强度黄铜推荐手工钨极氩弧焊和电弧焊
4	选择焊接材料	根据合金的焊接性能和铸件应用要求来选择焊接材料
5	预热	小型和薄壁铸件用远红外加热器、气焊火焰或喷灯等预热至100°C左右，大型铸件则应充分预热，预热温度见表7-46
6	中间过程温度控制	多层堆焊时要控制过程（层间）温度，以防产生红热脆性和焊接缺陷，中间温度控制见表7-46

（续）

序号	工序名称	主　要　内　容
7	金属沉积技术	金属的沉积应根据焊补量、尺寸大小以及合金焊接性能来确定，其方法有： 1）直线运条焊接：该方法渗透性强，但残余应力较大 2）退焊：可防止热量集中和金属过热 3）S 形运条焊接：焊枪左右移动的宽度为电极直径的 3 ~5 倍 4）8 字形运条焊接：适用薄壁件，能较好地控制焊区熔池深度 5）堆积焊接：用于多层焊，可减少内应力
8	敲击	焊前用锤子或风动工具锤击焊接坡口区，以后每焊接一道都要锤击焊缝和热影响区，借以提高焊缝的致密性和减少内应力
9	冷却	大多数铜合金铸件焊补后不需要强制冷却，而是在静止的空气中冷却至室温，但磷青铜则要求迅速冷却至 200℃以下，以防开裂
11	焊接质量检验	包括目视、着色探伤和必要时的射线探伤或超声波检验

（2）焊接材料的选择

1）抗海水腐蚀性能必须接近或超过铸件本体。

2）如果化学成分与铸件本体不同，在使用时，为了避免电化学腐蚀，相对铸件本体来说焊缝金属必须成为阴极。

3）焊缝的力学性能应接近或超过铸件本体的力学性能。

4）焊缝的气体和杂质含量应尽可能低，并具有良好的抗裂性，使用焊剂应含有足够的还原剂，以便使焊缝不产生裂纹和气孔等缺陷。

5）有适当的熔点和流动性，与铸件本体能很好地熔合。

（3）焊补预热温度及层间温度控制和焊接材料的选择　见表 7-46、表 7-47。

表 7-46　铜合金铸件焊补的预热温度及层间温度控制　（单位:℃）

合金及牌号	氧乙炔焊		焊条电弧焊		气体保护电弧焊	
	预热	层间	预热	层间	预热	层间
纯铜	427	427	500	500	500	500
低锌黄铜、锰青铜	200	200	200	200	200	200
硅黄铜	80	100	80	100	80	100
ZCuZn40Mn3Fe1	150 ~350	150 ~350	150 ~350	150 ~350	150 ~350	150 ~350
ZCuZn24A15Mn2Fe2	150 ~250	150 ~250	150 ~250	150 ~250	150 ~250	150 ~250
锡青铜、磷青铜	180	180	180	180	180	180
铅青铜	—	—	200	<250	200	<250
铝青铜	—	—	100 ~250	100 ~250	100 ~250	100 ~250
高锰铝青铜	—	—	100 ~250	100 ~250	100 ~250	100 ~250
镍铝青铜	—	—	140 ~200	140 ~200	140 ~200	140 ~200
铍青铜	—	—	150	150	150	150
硅青铜	—	—	—	80	—	80
白铜	—	50	—	50	—	50

表 7-47　铜合金铸件熔焊焊接材料的选择

序号	合金	氧乙炔焊	焊条电弧焊	气体保护电弧焊
1	纯铜	1）含微量硅、锰、锡的纯铜丝 2）低铁铝青铜焊丝 3）铜-镍合金焊丝	含微量硅、锰、锡的纯铜焊条	1）含微量硅、锰、锡的纯铜丝 2）低铁铝青铜焊丝 3）铜-镍合金焊丝
2	黄铜	1）同牌号的合金焊丝 2）锡磷焊丝 3）当要求颜色一致时，低锌黄铜用 w(Si)为 1.5% 的 Cu-Zn-Si-Sn-Fe 焊丝，高锌黄铜用锡黄铜焊丝	1）锡磷焊条 2）含锡黄铜焊条 3）要求高强度和高耐蚀性的用低铁铝青铜焊条 4）要求高强度焊缝的低锌黄铜铸件用 w(Sn)为 4% ~9% 的锡磷青铜焊条	1）w(Sn)为 4% ~9% 的锡青铜焊丝 2）高强度锰黄铜用低铁铝青铜焊丝 3）低锌黄铜当要求颜色一致时用硅青铜，或 w(Sn)为 8% 的锡磷青铜焊丝
3	铝青铜		1）同牌号合金的焊条 2）各种铝青铜焊条 3）低铝型焊丝可得到好的热强度和热塑性焊缝	1）同牌号合金的焊丝 2）低铝型焊丝无裂纹敏感性
4	锡青铜 磷青铜	1）不含铅的锡青铜可以用中锡含量的锡青铜焊丝 2）磷青铜用锡黄铜焊丝	1）用 w(Sn)为 4% ~6% 或 7% ~9% 的锡磷青铜焊条 2）含硅的磷青铜焊条：w(Sn) 为 8%，w(P) 为 0.2%，w(Si) 为 0.2% ~0.6%，可以消除气孔	1）低锡青铜用 w(Sn)为 4% ~6% 的锡磷青铜焊丝 2）高锡青铜用含 w(Sn)为 7% ~9% 的锡磷青铜焊丝
5	锰青铜	1）含 Si、Sn、Fe、Mn 等元素的铜锌焊丝 2）低铁铝青铜焊丝	1）含 Si、Sn、Fe、Mn 等元素的铜锌焊条 2）低铁铝青铜焊条	1）含 Si、Sn、Fe、Mn 等元素的铜锌焊丝 2）低铁铝青铜焊丝
6	硅青铜	1）同牌号合金焊丝 2）含硅的锡黄铜焊丝	1）同牌号合金焊条 2）Cu-Si 焊条 3）低铝型铝青铜焊条	1）同牌号合金焊丝 2）Cu-Si 焊丝
7	铍青铜	含微量硅、锰、锡的纯铜丝	含微量硅、锰、锡的纯铜焊条	含微量硅、锰、锡的纯铜丝
8	白铜	w(Ni)为 3% ~30% 的铜-镍焊丝	w(Ni)为 3% ~30% 的铜-镍焊条	w(Ni)为 3% ~30% 的铜-镍焊丝

（4）铜及铜合金铸件焊补用的填充焊丝　见表 7-48。

表 7-48　铜及铜合金铸件焊补用的填充焊丝

适用母材	填充焊丝			
	焊丝名称	焊丝牌号	主要化学成分（质量分数,%）	熔点/℃
纯铜、黄铜、高铜合金	纯铜焊丝	HS201(SCu-2)	Sn1.1、Si0.4、Mn0.4、Cu 余量	1050
纯铜、高铜合金	低磷铜焊丝	HS202(SCu-1)	P0.3、Cu 余量	1060
黄铜	锡黄铜焊丝	HS220(SCuZn-2)	Cu59、Sn1、Zn 余量	886
黄铜	锡黄铜焊丝	HS221(SCuZn-3)	Cu60、Sn0.9、Si0.1、Fe0.8、Zn 余量	890
黄铜	铁黄铜焊丝	HS222(SCuZn-4)	Cu58、Sn1、Si0.3、Zn 余量	860
黄铜	硅黄铜焊丝	HS224(SCuZn-5)	Cu65、Si0.5、Zn 余量	905
硅青铜、黄铜	硅青铜焊丝	HCuSi3	Si2.75～3.5、Cu 余量	1026
锡青铜、低锌黄铜	锡青铜焊丝	SCuSn7P1	Sn6～8、P0.15～0.35、Cu 余量	996
铝青铜、特殊黄铜	铝青铜焊丝	SCuAl8Mn1	Al7～9、Mn1～1.5、Cu 余量	1061
铝青铜、硅青铜、特殊黄铜	铝青铜焊丝	SCuAl9Fe1	Al8～10、Fe0.5～1.5、Cu 余量	1047
铝青铜、黄铜	铝青铜焊丝	SCuAl10Fe4	Al9～11、Fe3～5、Cu 余量	1047
镍铝青铜、高锰铝青铜	镍铝青铜焊丝	SCuAl9Fe4Ni4Mn2	Al8～10、Fe3～5、Ni3～5、Mn0.5～2.5、Cu 余量	1060
高锰铝青铜	高锰铝青铜焊丝	SCuAl8Mn13Fe3Ni2	Al17～9、Fe2～4、Ni1.5～3、Mn10～13、Cu 余量	987
白铜、纯铜、铝青铜、硅青铜	白铜焊丝	SCuNi3TiMnSi	Ni3～3.5、Ti0.1～0.3、Si0.2～0.3、Mn0.2～0.3、Cu 余量	1120
白铜、纯铜、铝青铜、硅青铜	白铜焊丝	SCuNi10Fe1	Ni9～11、Fe1～1.5、Cu 余量	1150
白铜	白铜焊丝	SCuNi30Mn1Fe1	Ni29～33、Mn0.5～1、Fe0.5～1、Cu 余量	1228

7.4.2　气焊焊补

气焊焊补是利用氧乙炔焰产生的高温将焊丝金属与缺陷处的铸件本体金属熔接在一起的焊补方法。

1. 气焊的主要设备及工具

（1）主要设备及安全装置

1）氧气瓶或制氧站：提供氧气。

2）瓶装溶解乙炔或乙炔发生器：提供乙炔气。电石与水在乙炔发生器内相互作用产生乙炔气。

3）安全装置：气压表、安全阀及防回火装置。

（2）工具

1）主要工具是焊炬。按氧气和乙炔气混合方式不同，焊炬分为等压式和射吸式两类。等压式焊炬的结构简单，回火可能性小，但适用范围有一定限制。射吸式焊炬的结构虽较复杂，但应用范围广泛，其型号（焊接厚度）有四种：H01-2 型（0.5～2mm）、H01-6 型（2～6mm）、H01-12 型（6～12mm）、H01-20 型（12～20mm）。

2）胶管：用于连接氧气瓶、乙炔发生器和焊炬。

3）辅助工具：扳手、钢丝刷、通针等。

2. 铸铁件的气焊焊补

（1）铸铁件气焊材料　气焊材料包括焊条（焊丝）和焊剂。

1）铸铁件气焊焊补用焊条的规格见表 7-49。

表 7-49　铸铁件气焊焊补用焊条的规格

牌号	化学成分（质量分数,%）					直径/mm						施焊特点
	C	Si	Mn	P	S	3.15	4	5	6	8	10	
						长度/mm						
QHT-1	3.3～3.9	3.0～3.8	0.5～0.8	0.15～0.4	<0.08	250～400	400～600	400～600	400～600	450～550	450～550	热焊
QHT-2		3.8～4.5										冷焊

2）铸铁件气焊焊补用铜合金焊丝见表 7-50。

表 7-50　铸铁件气焊焊补用铜合金焊丝

名称	牌号	化学成分（质量分数,%）									熔点/℃
		Sn	Si	Cu	Mn	Fe	Ag	Ni	Cr	Zn	
锡黄铜焊丝	HS221	0.8～1.2	0.15～0.35	59～61	—	—	—	—	—	余量	890
铁黄铜焊丝	HS222	0.7～1.0	0.05～0.15	57～59	0.03～0.09	0.35～1.2	—	—	—	余量	860
银黄铜焊丝	HS223	0.2～0.4	0.15～0.35	58～60.5	—	—	0.2～0.4	—	—	余量	890
硅黄铜焊丝	HS224	—	0.3～0.70	61～69	—	—	—	—	—	余量	905
高强度黄铜焊丝	HS225	0.7～1.0	0.05～0.15	57～59	0.03～0.09	0.35～1.2	—	0.8～1.2	0.12～0.16	余量	900

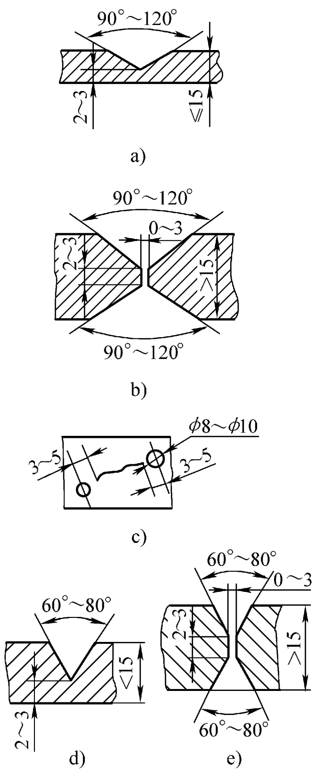
3）铸铁件气焊焊补用焊剂见表 7-51。

表 7-51　铸铁件气焊焊补用焊剂（焊粉）

<table>
<tr><th>品种</th><th>牌号</th><th colspan="7">特　　点</th></tr>
<tr><td>市场购买</td><td>气焊剂 201
（CJ201）</td><td colspan="7">熔点约 650℃，呈碱性，易潮解，应密封存放，能除掉焊补过程中产生的氧化物和硅酸盐，有助熔作用。可用于焊补各种铸铁件，主要用于铸铁焊补</td></tr>
<tr><td rowspan="7">自行配制</td><td colspan="8">自制气焊焊剂配方（质量分数,%）</td></tr>
<tr><td>序号</td><td>硼砂</td><td>碳酸钠</td><td>碳酸钾</td><td>重碳酸钠</td><td>氧化硅</td><td>苏打粉</td><td>工业碳酸钠</td></tr>
<tr><td>1</td><td>56</td><td>22</td><td>22</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>2</td><td>48</td><td>—</td><td>—</td><td>45</td><td>7</td><td></td><td>—</td></tr>
<tr><td>3</td><td>50</td><td>—</td><td>—</td><td></td><td></td><td>50</td><td>—</td></tr>
<tr><td>4</td><td>100</td><td colspan="2">（或脱水硼砂 100）</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>5</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>100</td></tr>
</table>

（2）铸铁件气焊焊补操作　气焊焊补方法有冷焊和热焊两种。其焊前准备及操作方法与焊条电弧焊焊补基本相同。其要点见表 7-52。

表 7-52　铸铁件气焊焊补操作要点

<table>
<tr><th>气焊方法</th><th colspan="2">操　作　要　点</th></tr>
<tr><td>冷焊</td><td>1）焊丝表面和铸件缺陷清理干净
2）缺陷处理。根据焊件壁厚和缺陷深度作坡口（图 a、b）
缺陷是裂纹的，钻止裂孔（图 c）
3）采用弱碳化焰或中性焰，以减少硅、锰烧损和消除氧化膜
4）根据铸件厚度，选用焊炬，如下表：
<table><tr><td rowspan="2">铸铁件厚度
/mm</td><td colspan="2">焊　炬</td></tr><tr><td>焊嘴孔径/mm</td><td>氧气压力/MPa</td></tr><tr><td><20</td><td>2</td><td>0. 39</td></tr><tr><td>20 ~ 50</td><td>3</td><td>0. 58</td></tr></table>5）焰心与熔池距离为 15 ~ 20mm，火焰始终要盖住熔池
6）防止过热。发现熔池有小气泡或白亮氧化物时，可向熔池中加入少许焊剂，并用火焰加热熔池使气泡和夹杂上浮，用焊丝挑出
7）最终焊缝稍高于铸件平面，以便于切削加工
8）保温缓冷。焊补后用火焰加热焊缝，并用草木灰或石棉覆盖缓冷，以防产生白口</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>热焊</td><td>1）坡口比冷焊时略小（图 d、e）
2）局部或整体预热 600℃左右，立即焊补
3）焊后在 650 ~ 700℃左右保温缓冷，以防白口和裂纹</td></tr>
</table>

3. 铝合金铸件的气焊焊补

（1）铸铝件气焊焊补用焊丝和焊剂　见表 7-53。

表 7-53　铸铝件气焊用焊丝和焊剂

<table>
<tr><td rowspan="5">焊丝</td><td>铸件材质</td><td>焊丝名称</td><td>焊丝牌号</td><td colspan="4">焊丝主要成分（质量分数,%）</td></tr>
<tr><td>铝硅合金</td><td>铝硅合金焊丝</td><td>HS311</td><td colspan="4">Si4 ~ 6，Al 余量</td></tr>
<tr><td>铝镁合金</td><td>铝镁合金焊丝</td><td>HS331</td><td colspan="4">Mg4. 7 ~ 5. 7，Al 余量</td></tr>
<tr><td>铝锰合金</td><td>铝锰合金焊丝</td><td>HS321</td><td colspan="4">Mn1 ~ 1. 6，Al 余量</td></tr>
<tr><td>纯铝</td><td>纯铝焊丝</td><td>HS301</td><td colspan="4">Al≥99. 6</td></tr>
<tr><td rowspan="5">焊剂（质量分数,%）</td><td>序号</td><td>KCl</td><td>NaCl</td><td>LiCl</td><td>$BaCl_2$</td><td>NaF</td><td>Na_3AlF_6</td></tr>
<tr><td>1（CJ401）</td><td>50</td><td>28</td><td>14</td><td>—</td><td>8</td><td>—</td></tr>
<tr><td>2</td><td>48</td><td>35</td><td>—</td><td>—</td><td>8</td><td>9</td></tr>
<tr><td>3</td><td>29</td><td>19</td><td>—</td><td>48</td><td>—</td><td>4</td></tr>
<tr><td>4</td><td>50</td><td>30</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>20</td></tr>
</table>

（2）铝合金铸件气焊焊补规范　见表 7-54。

表 7-54　铝合金铸件气焊焊补规范

铸件壁厚/mm	<2	2 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 20
焊炬型号	HO1-6	HO1-6	HO1-6	HO1-12	HO1-12
焊嘴号码	1	1 – 2	2 – 4	2 – 4	2 – 4
氧气压力/MPa	0. 2	0. 2 ~ 0. 3	0. 3 ~ 0. 4	0. 4 ~ 0. 5	0. 5 ~ 0. 6
乙炔压力/MPa	0. 001 ~ 0. 10				

（3）铝合金铸件气焊焊补操作要点

1）应在无穿堂风且温度不低于 15℃的环境中施焊。

2）对大型复杂铸件或裂纹倾向性大的 ZL201 铸件，焊后应立即装入温度为 200 ~ 300℃的炉中缓冷。

3）焊补收尾时，应适当添加焊丝，填满熔池，以防止焊缝产生缩孔和裂纹。

4）采用中性焰进行平焊，焊嘴与铸件的倾斜角为 20° ~ 45°，焊条与铸件的倾斜角为 45°。

5）壁厚小于 5mm 的铸件采用左焊法，壁厚大于 5mm 的铸件采用右焊法进行焊补。

4. 铜合金铸件的焊补

（1）铸铜件气焊焊补用焊丝和焊剂　见表 7-55。

（2）黄铜铸件的气焊焊补　黄铜铸件气焊焊补规范见表 7-56。

表 7-55　铸铜件气焊焊补用焊丝和焊剂

焊　　丝

铸件材质	焊丝名称	焊丝牌号	焊丝主要成分（质量分数,%）						
			Sn	Cu	Si	Fe	Mn	P	Zn
黄铜	锡黄铜焊丝	HS221	0.8～1.2	59～61	0.15～0.35	—	—	—	余量
		HS222	0.7～1.0	57～59	—	0.35～1.2	—	—	余量
黄铜	硅黄铜焊丝	HS224	0.3～0.7	61～69	—	—	—	—	余量
纯铜	特制纯铜焊丝	HS201	1～1.2	余量	0.35～0.5	—	0.35～0.5	0.1	—
	低磷纯铜焊丝	HS202	—	余量	—	—	—	0.2～0.4	—

焊剂成分（质量分数,%）

种类	序号	脱水硼砂	硼酸	磷酸钠	木炭粉	硅石粉	氟化钠
纯铜、锡青铜焊剂	1	100	—	—	—	—	—
	2	50	35	15	—	—	—
	3	50	—	15	20	15	—
	4	94	—	—	—	6	—
黄铜焊剂	1	100	—				—
	2	20	80				—
	3	50	35	磷酸氢钠 15			
	4	20	70	—	—	—	10
铝青铜焊剂	1	CJ401　100	—	—	—	—	—
	2	CJ401　40	60	—	—	—	—
	3	氯化钾 47	氯化钡 21	—	氯化钠 16		16

表 7-56　黄铜铸件气焊焊补规范

缺陷深度 /mm	焊丝直径 /mm	焊炬型号	乙炔流量 /(L/h)	缺陷深度 /mm	焊丝直径 /mm	焊炬型号	乙炔流量 /(L/h)
≈3	2	HO1—2	100～150	5～10	5～8	HO1—12	500～700
3～4	3	HO1—2，HO1—6	100～300				
4～5	4	HO1—6	250～350	>12	8	HO1—12	750～1000

（3）黄铜铸件气焊焊补要点

1）采用弱氧化性火焰进行焊补，使熔池表面覆盖一层氧化锌薄膜以防止蒸发。

2）火焰焰心末端与铸件表面的距离为 15～20mm。

3）采用左焊法，焊补速度尽可能快，一次焊成。

（4）锡青铜铸件的气焊焊补要点

1）锡青铜有热脆性，铸件在焊前应预热。

2）焊后不能立即搬动。

3）采用中性焰焊补。

4）焊丝的化学成分应与铸件相同或相近，但锡的质量分数应比铸件高1%～2%，以补充锡的烧损，或采用含P、Si、Mn等脱氧元素的青铜焊丝进行焊补。

（5）铝青铜铸件的气焊焊补要点

1）铸件在焊前应预热至500～600℃。

2）应先焊补大缺陷，后焊补小缺陷。对于长而深的缺陷，可将铸件倾斜15°进行上坡焊。

3）当焊补过程中熔池表面产生氧化膜时，可加焊剂或挑除。

4）熔池若出现过热氧化时，应一面继续用火焰加热，一面用铁丝刮去氧化膜，然后加入铝粉和焊剂继续焊补。

5）铸件在焊补后应保温缓冷。

7.4.3 铸铁件喷覆法焊补

以氧乙炔焰为热源和送粉载体，将与铸件本体成分基本一致的特制合金粉末加热到熔融或半熔融状态，高速喷覆到预先处理好的铸件表面，并继续加热使之完全熔化，与铸件本体形成冶金结合的表面强化和修复技术，称之为喷覆法焊补。

1. 喷覆法焊补适用范围

1）直接对铸铁毛坯件上的缺陷进行冷焊。

2）对暴露在加工面上的孔洞类缺陷直接焊补。

3）焊补和修复铸铁模具及磨损后的耐磨件。

2. 喷覆焊的设备——喷焊炬

（1）喷焊炬的主要技术参数 见表7-57。

表7-57 喷焊炬的主要技术参数

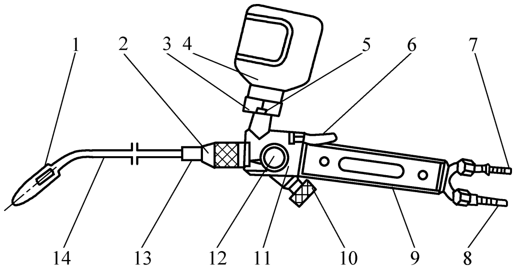
系列	组号	喷嘴孔径/mm	使用气体压力/MPa		气体消耗量/(m^3/h)		送粉量/(kg/h)	总长度/mm	总重量/kg
			氧气	乙炔	氧气	乙炔			
QT-1/h系列	1	0.9	0.20	0.05～0.10	0.16～0.18	0.14～0.15	0.4～0.6	430	0.55
	2	1.1	0.25		0.26～0.28	0.22～0.24	0.6～0.8		
	3	1.3	0.30		0.41～0.43	0.35～0.37	0.8～1.0		
QT-2/h系列	1	1.6	0.30	0.05～0.10	0.65～0.70	0.55～0.65	1.0～1.4	470	0.59
	2	1.9	0.35		0.80～1.00	0.70～0.80	1.4～1.7		
	3	2.2	0.40		1.00～1.20	0.90～1.10	1.7～2.0		
QT-4/h系列	1	2.6	0.40	0.05～0.10	1.60～1.70	1.45～1.55	2.0～3.0	580	0.75
	2	2.8	0.45		1.80～2.00	1.65～1.75	3.0～3.5		
	3	3.0	0.50		2.10～2.30	1.85～2.20	3.5～4.0		

注：从喷焊炬喷出的氧乙炔焰种类可分四类：碳化焰（乙炔过剩）、还原焰（乙炔稍多的中性焰）、中性焰（氧气和乙炔充分燃烧，没有氧和乙炔过剩）、氧化焰（氧过剩，火焰有氧化性）。

（2）喷焊炬的使用方法　见表 7-58。

表 7-58　喷焊炬的使用方法

喷焊炬简图



1—喷焊嘴　2—连接螺母　3—粉斗座　4—粉斗　5—控粉器　6—喷粉按手
7—氧气接头　8—乙炔接头　9—手柄　10—乙炔手轮　11—中部主体
12—氧气手轮　13—混合接头　14—混合气管

序号	方法	安装及使用方法
1	使用前	先将由连接螺母 2、混合接头 13 和混合气管 14 组成的喷焊炬前部用力插入中部主体 11 的 ϕ16mm 孔中，必须插到底，旋紧连接螺母，然后根据待焊补缺陷的大小，选择适当的喷焊嘴 1 装在混合气管 14 的头部并旋紧
2	套上氧和乙炔气胶管	将氧气胶管和乙炔气胶管分别套在氧气快速接头和乙炔气快速接头上，并夹紧（也可将氧气和乙炔气胶管直接套在喷焊炬尾部接头上，夹紧后使用）
3	检查氧气气路	接通氧气，检查喷焊炬的气路情况。氧气不得从乙炔气接头处大量倒流；各气体通路应通畅；按下喷粉按钮时，粉斗座处应有吸力
4	检查乙炔气路、调节火焰	插入乙炔气快速接头，接通乙炔气体。点火时应先开微量氧气，再打开乙炔阀，然后点火。点火后必须先调整好氧气和乙炔气的工作压力（参见表 7-57），然后调节火焰处于正常状态
5	装入粉斗，检查控粉器工作是否正常	火焰调节正常后，将装有合金粉末的粉斗旋入粉斗座，调节火焰为中性焰，检查控粉器（粉阀）工作是否正常：按下喷粉按钮，检查粉末喷射情况正常与否，如正常可进行喷焊操作，如不正常则应及时修复；如放开喷粉按钮后不能完全停止喷粉，可调节喷粉按钮反面的粉阀调节螺钉，使之关闭
6	安全条件	①本型号喷焊炬必须在中压乙炔发生器管路中使用；②在未点火前不能按下喷粉按钮，以免粉阀堵塞；③在氧气和乙炔气管路上必须安装回火防止器

（3）铸铁件喷覆法焊补工艺　见表 7-59。

表 7-59　铸铁件喷覆法焊补工艺

序号	工序	操作要点
1	清理缺陷部位	用机械方法或化学方法去除铸件缺陷表面的各种杂质和氧化物，直至暴露出具有金属光泽的新鲜表面。缺陷底面平缓过渡，不要出现尖角。缺陷表面油污须用丙酮或其他除油剂除去

（续）

序号	工序	操　作　要　点
2	调整喷焊炬	根据铸件壁厚和缺陷部位的大小，由表 7-57 选择合适系列的喷焊炬和组号合适的喷焊嘴，按喷焊设备使用说明，调整喷焊炬至正常使用状态
3	预热	将喷焊炬火焰调整成弱碳化焰或中性焰，使焰心至待焊补表面的距离保持在 5～10mm，加热待焊补表面至 300～400℃。加热时注意不能使待焊补表面严重氧化
4	喷覆保护粉	预热后，使喷焊嘴与待焊补表面的距离保持在 80～100mm，在待焊补表面均匀喷覆一层厚 0.1～0.5mm 的保护粉，以保证在后续熔化加热时基材表面不严重氧化。喷粉方向尽可能与待焊补表面垂直，覆盖要完整
5	加热	使火焰保持为中性焰，将喷焊嘴移近至与待焊补表面相距 8～12mm，迅速将待焊补表面加热至 950°C 左右，使保护粉呈“镜面反光”状态。注意加热温度不能过高，以防止被焊补表面因过热而氧化和硬化，尤其要注意不能使基体发生熔化
6	喷覆充填	保护粉被加热至“镜面反光”状态后，调整喷焊嘴至待焊表面的距离为 5～8mm，迅速喷覆焊粉。交替进行喷覆和熔化焊粉的操作，直至缺陷处被填满为止
7	检验	充填完成后，用火焰沿充填区加热一周，观察充填区内是否有过热点和假焊点。若个别部位有明显的快于其他部位的泛红现象，则表明该处是假焊点，焊粉与基体的结合不好，应迅速补加热使该点熔化焊合，以保证焊补质量
8	清理与加工	焊补后的焊件在冷却至室温后，方可进行机械加工，使焊补面达到规定尺寸。对不需要进行机械加工或已无加工余量的焊补面，可用砂轮、油石、砂布等工具将高出铸件表面的焊料打磨至与铸件表面齐平为止

7.4.4　环氧树脂粘补法

此法是利用强粘结力的环氧树脂粘结剂来修补铸件缺陷的一种方法。适用于工作温度小于 100℃，不承受大的冲击负荷的铸件表面缺陷修补。

1. 环氧树脂粘结剂配方（见表 7-60）

表 7-60　环氧树脂粘结剂参考配方　（单位：g）

序号	环氧树脂					固化剂			增塑剂	填　料						硬化特点
	6101	102	105	634	628	乙二胺	邻苯二甲酸酐	顺丁烯二酸酐	邻苯二甲酸二丁酯	石棉粉	二氧化钛	还原铁粉	硅石粉	氧化铝粉	硅铁粉	
1	100					7～9			15～20						300～400	室温 4～6h 自行硬化
2	100					8			15					100		自行硬化
3	100					8～10			15			40	40	20		用红外线烘烤 2～3h，至完全硬化，然后自然干燥

（续）

序号	环氧树脂					固化剂			增塑剂	填料					硬化特点
	6101	102	105	634	628	乙二胺	邻苯二甲酸酐	顺丁烯二酸酐	邻苯二甲酸二丁酯	石棉粉	二氧化钛	还原铁粉	硅石粉	氧化铝粉	硅铁粉	
4		100					30～35		10～15	20～35	50					在120～140℃下保持4～5h，即硬化
5			50		50		28～30		10～15	20～35	50					在120～140℃下保持4～5h，即硬化
6				100		8			15			100				自行硬化
7				100		6～8						250				室温24～48h可充分硬化
8				100				40	20						120	在80℃下1.5h或180℃下2.5h随炉冷却
9				100			50					500				在200℃下保温2h即硬化
10					100	10			20						120	室温下24～48h或阳光下4～8h自行硬化

2. 环氧树脂粘结剂配制工艺和粘补方法（见表7-61）

表7-61 环氧树脂粘结剂配制工艺和粘补方法

粘结剂配制方法	1）根据需要量，严格按配方称量（见表7-60） 2）将称量好的环氧树脂倒入烧杯中，放在50～80℃的热水浴中加热，提高树脂流动性 3）边搅拌边加入增塑剂 4）搅拌均匀后再加入填料，继续搅拌，直至无气泡时为止 5）最后加入固化剂，立即搅拌均匀，待气泡全部消失后，应立即使用
粘补方法	1）用汽油、丙酮等将缺陷表面油污擦洗干净；用砂纸、锉刀、刮刀等工具除去缺陷上的氧化物，露出金属光泽。裂纹处钻出止裂孔和开坡口 2）粘补应在热处理后，或涂漆前进行 3）将粘结剂沿一个方向浇入，使其自然流动，直至高出铸件表面1～2mm（浇注法） 也可用刮刀挑取粘结剂填入，将缺陷填满后，用在酒精灯上加热后的刮刀，将填入的粘结剂熨平（刮涂法）

7.4.5 承压铸件的浸渗技术

铸件浸渗技术是一种在常压或真空加压作用下，使液态浸渗剂渗透充填到铸件微

孔缺陷中去并固化，达到有效封闭铸件内的微孔缺陷，消除铸件渗漏的修补技术。这是解决承压铸件因微孔缺陷所导致渗漏的最简便、有效的修复方法。我国铸件浸渗技术已达国际先进水平。

铸件浸渗方法分两大类，一是局部浸渗法（如涂刷法、注射法、浸涂法、局部加压浸渗法）；二是整体浸渗法（如常压浸渗法、内压浸渗法、加压浸渗法、真空浸渗法、真空压力浸渗法）。

1. 浸渗剂

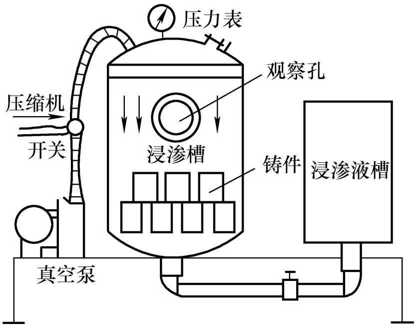
浸渗剂是用以对铸件进行浸渗处理、密封铸件内的微孔缺陷的液态化学物质，分为两大类：无机浸渗剂和有机浸渗剂。

无机浸渗剂种类较多，目前应用最广泛的是改性碱金属硅酸盐浸渗剂，它具有无毒、不污染环境、易储存、耐酸碱、耐高温、填隙能力强、可以室温固化、易用水洗净、原材料来源广泛、制造容易、价格低廉等特点。

有机浸渗剂种类也较多，应用最广泛的是厌氧型树脂浸渗剂。它具有固化性能好、表面张力小、粘度小于20mPa·s、浸渗效果高、不含溶剂、固化时不膨胀、不收缩、可浸渗处理尺寸在0.5mm以下的孔隙的特点。厌氧型浸渗剂的型号和适用范围如下：①AIS-10A型浸渗剂，适用于铸铁件和铸铝件的整体或局部浸渗处理；②AIS-10B型浸渗剂，适用于铸铜件的整体或局部浸渗处理；③AIS-10ZY-SI型浸渗剂，主要用于钢、铁、铜、铝铸件微孔局部浸渗处理和焊缝的局部浸渗处理。

2. 真空加压浸渗技术（见表7-62）

表7-62　真空加压浸渗技术

<table>
<tr><td>真空加压浸渗装置图示</td><td>

真空加压浸渗装置示意图</td></tr>
<tr><td>设备</td><td>LJS-Ⅱ系列真空加压浸渗设备，包括脱脂罐、清洗罐、浸渗罐、钝化罐、固化罐、干燥罐、电控柜和操作平台；外购真空泵、空气压缩机与之配套。其系列规格有多种，以浸渗罐内径来划分：ϕ400mm、ϕ600mm、ϕ800mm、ϕ1000mm、ϕ1200mm、ϕ1400mm、ϕ1600mm</td></tr>
<tr><td>方法</td><td>适合于中、小型铸件微孔缺陷的补漏处理，使用方便，处理速度快，处理量大
真空压力浸渗法是将经前处理（去污、清洗、脱脂、烘干）的、需要修复的渗漏铸件，置于密封的压力容器内，密封后抽真空以排除铸件微孔缺陷中的空气、水分和微尘，消除加压时微孔缺陷中的气垫作用，然后，向容器中注入浸渗液，在压差动力作用下充填微孔缺陷，实现真空浸渗；接着向容器内充入压缩空气，进一步使浸渗剂向铸件微孔缺陷的纵深处渗透，实现压力浸透</td></tr>
</table>

（续）

	真空度和时间	压力和时间	固化温度和时间
工艺参数	真空度为 0.093 ~ 0.098MPa，保持时间 15min	压力为 0.5 ~ 0.8MPa，保持时间 15min	用无机浸渗剂处理的铸件，通常在 80 ~ 100℃的烘箱中恒温固化 2 ~ 3h

3. 静压法渗透补漏技术（见表 7-63）

表 7-63　静压法渗透补漏技术补漏剂的配比、配制和补漏工艺

<table>
<tr><td rowspan="4">补漏剂配比</td><td rowspan="2">组分</td><td>粘结剂</td><td>支撑物</td><td colspan="4">填充物</td><td>载液</td></tr>
<tr><td>水玻璃</td><td>亚麻籽粉（或白芨粉，或木屑粉）</td><td>明矾</td><td>硅石粉</td><td>Fe_2O_3 粉①</td><td>Al_2O_3 粉②</td><td rowspan="3">氨水（氨:水 = 1:4）5g
工业酒精 5g
质量分数为 20% 的 NaOH 溶液 70mL</td></tr>
<tr><td>要求</td><td>$M = 2.2$，$\rho = 1.5 \sim 1.55 g/cm^3$</td><td>250 目</td><td>—</td><td>250 目</td><td>250 目</td><td>250 目</td></tr>
<tr><td>配比/g</td><td>1000</td><td>16</td><td>5</td><td>2.5</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">补漏剂混制工艺</td><td colspan="7">将各组元混合并搅拌 1h，制成补漏剂原液；在补漏剂原液中加入适量水，就成为可使用的补漏剂
对铸钢件、铸铁件、非铁合金铸件进行内压式渗透补漏时，可选用不同类型的、色泽与本体相同或相近的补漏剂</td></tr>
<tr><td colspan="2">静压法渗透补漏技术</td><td colspan="7">将温度适当的补漏液灌入铸件渗漏部位的内腔，并予以密封，对补漏液施加高于铸件正常工作压力的静压力，在静压力作用下使补漏液对铸件进行渗透补漏
补漏压力通常控制在铸件渗漏试验压力的 1 ~ 2 倍。例如，柴油机缸盖铸件的渗漏试验压力为 0.6MPa，采用 0.9 ~ 1.0MPa 补漏压力，补漏效果十分不错</td></tr>
</table>

① 适用于铸钢件和铸铁件，用于单件生产的大型和重型铸件进行补漏处理，它对引起铸件渗漏的缩孔和缩松缺陷特别有效。

② 用于铸铝件。

7.5　铸件内应力的消除

7.5.1　铸钢件内应力的消除

铸钢件消除内应力采用回火工艺。铸钢件用的回火实际上就是低温退火，即将铸钢件加热到 Ac_1 线以下 100 ~ 200℃（即 600℃左右），保温后炉冷至 200 ~ 300℃后出炉。这种方法的目的只是消除内应力和改善切削加工性能，铸件内部组织不发生转变。

1. 铸钢件消除内应力的回火工艺曲线（见图7-8）

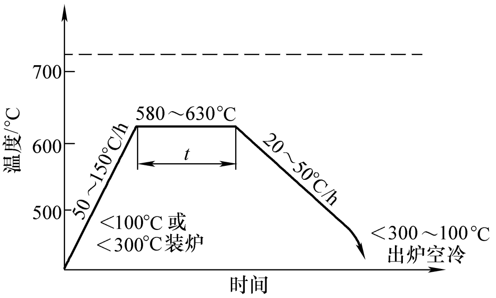
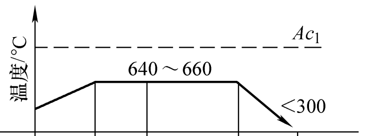


图7-8　铸钢件消除内应力的回火曲线

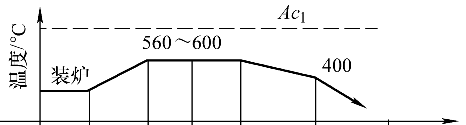
2. 铸钢件焊补后消除内应力的回火曲线（见图7-9）



铸件壁厚/mm	装炉温度/°C	加热	均温	保温/h	冷却	出炉温度/°C
<150	<300	不限	目测	4～6	停火关闸门	300
150～200				6～8		
200～250				8～10		
250～300				10～12		

图7-9　焊补后铸钢件消除内应力的回火工艺曲线
（适用于ZG230-450、ZG270-500、ZG310-570、ZG20CrMo、ZG20CrMoV、ZG15Cr1Mo1V等铸钢）

3. 铸钢件气割焊补后消除内应力的回火工艺曲线（见图7-10）



加工类型	装炉温度/°C	保温/h	加热/(°C/h)	均温	保温/h	冷速/(°C/h)	冷速/(°C/h)	出炉温度/°C
气　割	<200	3	<50	目测	5	≤50	≤50	150～200
焊补深度10～600mm	250～300	2	<60		6	停火关闸门，炉冷	停火关闸门，炉冷	250～300
焊补深度>60mm		2	<50		8			

图7-10　气割焊补后，铸钢件消除内应力的回火工艺曲线
（适用于ZG230-450、ZG270-500、ZG310-570、ZG20CrMo、ZG20CrMoV、ZG15Cr1Mo1V等铸钢）

7.5.2　铸铁件内应力的消除

1. 灰铸铁件消除内应力的时效处理（低温退火）工艺曲线（见图 7-11）

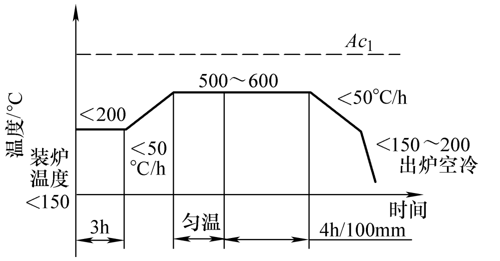


图 7-11　灰铸铁件消除内应力的时效处理工艺曲线

一些铸造厂典型灰铸铁件消除内应力的时效处理工艺规范见表 7-64。

表 7-64　典型灰铸铁件消除内应力的时效处理工艺规范

序号	铸件类别	铸件重量/t	铸件壁厚/mm	时效热处理工艺规范					
				装炉温度/℃	加热速度/(℃/h)	退火温度/℃	保温时间/h	冷却速度/(℃/h)	出炉温度/℃
1	较大的机床铸件	>2	20～80	<150	30～60	500～550	8～10	30～40	150～200
2	较小的机床铸件	<1	<60	≤200	<100	500～550	3～5	20～30	150～200
3	纺织机械小铸件	<0.05	<15	<150	50～70	500～550	1.5	30～40	150
4	结构复杂、有较高精度要求的铸件（如鼓风机机架等）	1.5	>70 40～70 <40	<200 <200 <150	<75 <70 <60	500～550 450～550 420～450	9～10 8～9 5～6	20～30 20～30 30～40	<200 <200 <200
5	一般精度要求的铸件	0.1～1.0	15～60	100～200	<75	500	8～10	40	<200
6	筒类结构简单铸件	<0.3	10～40	100～300	100～150	550～600	2～3	40～50	<200

应指出，严格控制铁液成分、浇注工艺、砂型工艺、落砂开箱时间和冷却条件，能减少铸造应力，对一般铸件可不用时效热处理。

2. 球墨铸铁件消除内应力的低温时效处理工艺曲线（见图 7-12）

铸件若无其他热处理要求，一般应进行消除内应力的低温时效处理。处理后的组织与原始组织相同。

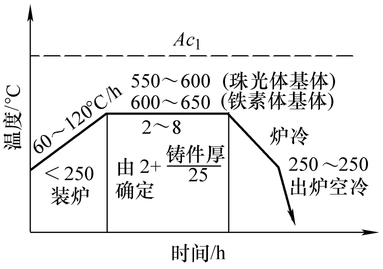


图 7-12　球墨铸铁件消除内应力的低温时效处理工艺曲线

3. 白口铸铁件消除内应力退火

高合金白口铸铁（如高硅铸铁、高铬铸铁）的热导率低和线收缩大，凝固冷却后有较大的残余应力，如不及时消除，极易在放置、运输、加工和使用过程中自行裂开。因此，必须进行人工时效，以消除内应力。高硅铸铁件、高铬铸铁件的人工时效工艺见表 7-65。

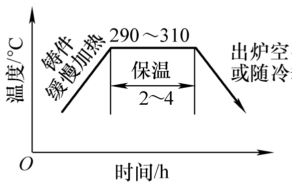
表 7-65　高硅铸铁件、高铬铸铁件的人工时效工艺

<table>
<tr><th>白口铸铁件</th><th colspan="2">化学成分（质量分数,%）</th><th>人　工　时　效　工　艺</th></tr>
<tr><td>高硅
白口铸铁</td><td>C0. 3 ~ 0. 8
Mn0. 3 ~ 0. 8
P≤0. 1</td><td>Si14. 5
S≤0. 07</td><td>1）简单的中小件。以 100℃/h 的加热速度缓慢升温至 850 ~ 900℃，保温 2 ~ 4h 后以 30 ~ 50℃/h 的冷却速度随炉缓慢冷却
2）形状复杂的铸件。在凝固冷却至 700℃ 左右时即出型送入已预热到该温度的退火炉中，然后升温至 780 ~ 850℃，保温 2 ~ 4h 后以 30 ~ 50℃/h 的冷却速度随炉缓慢冷却</td></tr>
<tr><td>高铬
白口铸铁</td><td>C0. 5 ~ 1. 0
Mn0. 5 ~ 0. 8
S≤0. 08</td><td>Si0. 5 ~ 1. 3
Cr26 ~ 30
P≤0. 1</td><td rowspan="2">将铸件缓慢加热（铸件温度在 500℃ 以下时加热速度为 20℃/h，铸件温度在 500℃ 以上时加热速度为 50℃/h）到 820 ~ 850℃ 保温，保温时间（h）：$t = \delta/25$，δ 为铸件厚度（mm），然后以 25 ~ 40℃/h 的冷却速度随炉缓慢冷却至 100 ~ 150℃ 出炉空冷</td></tr>
<tr><td>高铬
白口铸铁</td><td>C1. 5 ~ 2. 2
Mn0. 5 ~ 0. 8
S≤0. 1</td><td>Si1. 3 ~ 1. 7
Cr32 ~ 36
P≤0. 1</td></tr>
</table>

7. 5. 3　非铁合金铸件内应力的消除

1. 铝合金铸件内应力的消除（见表 7-66）

表 7-66　铝合金铸件内应力的消除

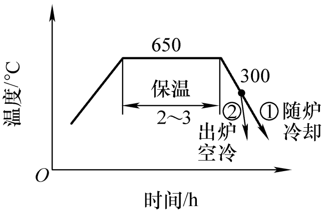
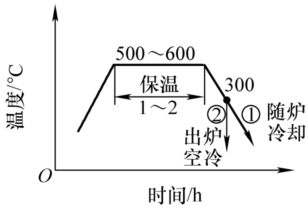
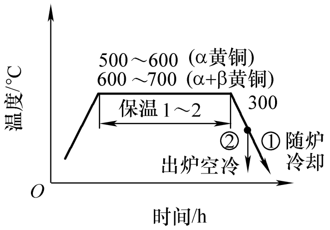
<table>
<tr><th>处理方法</th><th>工　艺　规　范</th><th>应　用</th></tr>
<tr><td>回火</td><td>
</td><td>一般铝合金铸件</td></tr>
<tr><td>冰冷处理</td><td>1）将铸态或固溶处理后的铸件放入冷处理炉中
2）冷却至 -50 ~ -70℃，或更低的温度，保温 2 ~ 4h，出炉
3）出炉后在空气或热水中加热到室温，或进炉加热到接近人工时效温度</td><td>适用于尺寸稳定性要求较高的铝合金铸件</td></tr>
</table>

（续）

处理方法	工　艺　规　范	应　用
循环热处理	1）将铸件冷却到 -50 ~ -70℃，保温 2 ~4h 2）随后加热到 200℃左右，保持一定时间 3）反复进行多次 冷却温度、加热温度、保持时间和反复次数根据铸件要求而定	适用于尺寸稳定性要求更高的铝合金铸件

2. 铜合金铸件内应力的消除（见表 7-67）

表 7-67　铜合金铸件内应力的消除

序号	合金名称	时效处理工艺规范
1	锡青铜	
2	磷青铜	
3	黄铜	

第 8 章　铸件质量检验及评定

为了保证铸件质量，除加强工序检查外，清理后的铸件，必须进行质量检验，通过检验来评定铸件质量是否符合交货验收的技术条件。

8.1　铸件质量的检验

8.1.1　铸件质量的现代内涵

从满足用户要求出发，铸件质量的内容，应包括外观质量、内在质量和使用质量三个方面。这是铸件质量的现代内涵，见表 8-1。

表 8-1　铸件质量的现代内涵

铸件质量项目	内　　涵	项目内容	检验方法
铸件外观质量	系指铸件表面状况和达到用户要求的程度	1）铸件表面粗糙度 2）铸件允许的表面缺陷 3）铸件尺寸公差 4）形状偏差 5）铸件重量偏差 6）浇冒口残留量 7）铸件焊补质量	检查铸件的表面质量，一般用观察法或用有关量具、仪器等进行测量
铸件内在质量	系指一般不能用肉眼检查出来的铸件内部状况和达到用户要求的程度	1）铸件的化学成分 2）铸件的力学性能 3）铸件的金相组织 4）铸件的内部缺陷（如孔洞、裂纹、夹杂物等） 5）有关标准或铸件交货验收技术条件所要求的各种特殊的物理性能和化学性能	内在质量的检验可用化学分析、材料试验、金相检查、无损探伤等方法
铸件使用性能	系指铸件能满足使用要求的性能	1）铸件在强力、高速、磨损、腐蚀、高热等不同工况条件下的工作性能 2）被切削性能、焊接性能、运转性能、工作寿命等	

8.1.2　铸件质量检验方式

根据铸件的生产规模、生产方式、铸件的重要性、铸造工艺的成熟和稳定程度及检验项目的不同，可采取全检和抽检两种不同的检验方式。

1. 全检

全检就是逐个检查所生产的全部铸件的质量。这种检验方式，通常适用于单件、小批生产或试生产，或用于特殊场合的重要铸件的关键质量检验项目，例如高压容器

类铸件的压力密封检验。

2. 抽检

抽检就是每批或每隔数批随机抽取规定数量的样品铸件或试块，组成样本，根据对样本质量的检验结果，判定其所代表的整批或数批铸件的质量。这种方式适用于成批或大量生产的铸件，在工艺稳定的前提下，可抽检铸件质量。

在大量生产条件下，在流水线上可按随机抽样原则，每隔一定周期（时间或数量）抽取样品铸件组成样本，进行质量检验。这种检验方式可及时反映流水线生产铸件的质量起伏情况、生产工艺稳定程度及设备运行情况，及时发现和解决生产中存在的问题。

8.1.3　铸件质量检验结果分类

铸件质量检验结果分类见表 8-2。

表 8-2　铸件质量检验结果分类

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="3">项目分类</th><th>概　　念</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1</td><td rowspan="4">质量检验</td><td colspan="2">目的</td><td>是保证铸件质量符合交货验收的技术条件</td></tr>
<tr><td colspan="2">依据</td><td>铸件图、制造工艺文件、有关标准及铸件交货验收技术条件</td></tr>
<tr><td colspan="2">外观质量</td><td>包括铸件尺寸公差、表面粗糙度、重量公差、浇冒口残留量、焊补质量、表面缺陷、表面硬度、试块断口质量</td></tr>
<tr><td colspan="2">内在质量</td><td>包括铸件力学性能、化学成分、金相组织、内部缺陷、特殊的物理化学性能</td></tr>
<tr><td rowspan="8">2</td><td rowspan="8">质量分类</td><td rowspan="3">检验结果分类</td><td>合格品</td><td>指外观质量和内在质量符合有关标准或交货验收技术条件的铸件</td></tr>
<tr><td>返修品</td><td>指外观质量和内在质量不完全符合标准和验收条件，但允许返修，返修后能达到标准和验收条件的铸件</td></tr>
<tr><td>废品</td><td>指外观质量和内在质量不合格，不允许返修或返修后仍达不到标准和验收条件的铸件</td></tr>
<tr><td rowspan="2">废品分类</td><td>内废</td><td>指在铸造厂（车间）内发现的废品铸件</td></tr>
<tr><td>外废</td><td>指铸件在交付后发现的废品。通常在机械加工、热处理或使用过程中才显露出来，所造成经济损失远比内废的大
为减少外废，成批生产的铸件，在出厂前，最好抽样进行试验性热处理和粗加工，尽可能在厂内发现潜在的铸件缺陷，以便及早采取必要的补救措施</td></tr>
<tr><td rowspan="3">合格品分等（按质量分等指数 C 分三等）</td><td>合格品</td><td>指铸件外观质量和内在质量符合现行国家标准或行业标准、生产过程和质量稳定，用户评价能满足使用性能的铸件
$60 < C \leqslant 80$</td></tr>
<tr><td>一等品</td><td>指铸件外观质量和内在质量符合现行国家标准或行业标准，生产过程和质量稳定，用户评价质量达到国内先进水平的铸件
$80 < C \leqslant 95$</td></tr>
<tr><td>优等品</td><td>指铸件外观和内在质量符合现行国家标准或行业标准,生产过程和质量稳定,用户评价质量达到国际先进水平,在国际市场中有竞争力的铸件
$95 < C \leqslant 100$</td></tr>
</table>

8.2 铸件缺陷检验方法

由于铸件作用不同，其质量要求也各不同，因此质量检验方法也不同。普通铸件一般只作外观检验。特殊用途的重要铸件还需进行理化试验和内部质量探伤检验。

8.2.1 外观质量检验方法

1. 铸件外观质量检验方法（见表 8-3）

表 8-3 铸件外观质量检验方法

检验项目			常用检验方法
表面缺陷	宏观缺陷：缩孔、气孔、砂眼、粘砂、裂纹、浇不足等		视觉极易发现
	微细缺陷、内腔缺陷、表皮以下各种缺陷		借助放大镜、内窥镜、尖嘴锤等工具，观察、敲击来寻找
尺寸和形状			利用工作平台、支承及各种工、夹、量具，通过直接测量，或划线检查，确认是否符合图样要求
表面粗糙度	砂型铸造	铸钢件	用铸造表面粗糙度比较样块进行评定 比较样块有四种，其中 通常能达到的表面粗糙度 *Ra*，有两种：100μm 和 50μm 采用特殊措施能达到的，有两种：25μm 和 12.5μm
		铸铁件	比较样块有六种，其中 通常能达到的表面粗糙度 *Ra*，有四种：100μm、50m、25μm 和 12.5μm 采用特殊措施才能达到的，有两种：6.3μm 和 3.2μm
			当铸件表面粗糙度低于规定等级时，可进行精整，精整后再进行检查评定

2. 铸件重量偏差的评定（表 8-4）

表 8-4 铸件重量偏差的评定

概念	铸件公称重量	指包括加工余量和其他工艺余量，作为衡量被检验铸件轻重的基准重量 单件和小批生产时，以计算重量或供需双方共同认定的任何一个合格品铸件的实际重量作为公称重量。有时，以标准样品的实称重量作为公称重量
	铸件重量公差	以占铸件公称重量的百分比表示的铸件重量变动的允许范围
	铸件重量公差等级	确定铸件重量公差大小程度的级别。用代号 MT 表示。重量公差等级分 16 级，为 MT1 ~ MT16
	铸件重量偏差	铸件实测重量与公称重量的差值占铸件公称重量的百分比

（续）

铸件重量偏差评定	评定的前提	1）使用经计量部门核验的同一精度等级的衡器称量 2）被检铸件称量前，清理干净。浇冒口余量符合技术规定，有缺陷铸件修补合格后称量
	合格	以下情况之一者，判定铸件重量偏差合格： 1）当铸件重量大于公称重量时，铸件重量偏差小于等于铸件重量公差的上偏差 2）当铸件重量小于等于公称重量时，铸件重量偏差小于等于铸件重量公差的上偏差
	不合格	检验结果不属以上两种情况的其他情况时，判定铸件重量偏差不合格

3. 铸钢件浇冒口切割余量检验（见表 8-5）

表 8-5　铸钢件浇冒口切割余量检验

浇冒口直径或宽度/mm		≤100	>100～200	>200～500	>500～750	>750	应用
优等品	残余高度/mm	+3	+4	+6	+9	+13	适用于质量严格出口的铸件
	凹入量/mm	-2	-3	-3	-5	-5	
一等品	残余高度/mm	+3	+5	+7	+10	+15	
	凹入量/mm	-2	-3	-3	-6	-6	
合格品	残余高度/mm	+3	+6	+10	+13	+19	适用于非出口铸件
	凹入量/mm	-3	-3	-3	-6	-6	

注：铸铁件浇冒口残留量，加工面不大于 4mm，非加工面不大于 2mm。

8.2.2　铸件表面和近表面缺陷检验方法

1. 腐蚀法检验铸件表面缺陷（见表 8-6）

表 8-6　腐蚀法检验铸件表面缺陷

序号	方　　法	应　　用
1	将铸件浸泡在汞和硝酸配制的溶液中，可检查铸件表面裂纹	适于铜合金和镁合金铸件
2	将铸件较长时间浸泡在盐水或海水中，视其侵蚀程度，判断其表面缺陷性质	适于不锈钢铸件
3	用盐酸或硫酸液清洗铸件表面，以发现裂纹	适于一般铸件

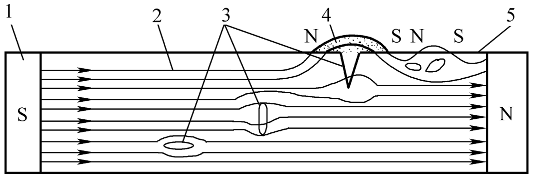
2. 渗透法检验铸件表面缺陷（见表 8-7）

表 8-7　渗透法检验铸件表面缺陷（GB/T 9443—2007）

分类	方　法	应　用
荧光探伤	1）将被检铸件浸泡在荧光液中，表面缺陷处便渗入荧光液 2）取出铸件，擦净 3）放在紫外线下照射。利用荧光液在紫外线照射发光的原理，来发现缺陷位置	广泛用于非磁性金属铸件的检查。 优点：方法简单易行，高效、低耗。 缺点：灵敏度较差，要求铸件表面的粗糙度应低 常用于检查铸件表面开口缺陷
着色探伤（PT）	1）将铸件表面清理和清洗洁净，干燥 2）在干净光洁的铸件表面上，喷洒加有红色染剂的着色溶剂（渗透剂），着色剂渗入表面开口缺陷内 3）将表面上多余的着色剂清除干净 4）再均匀喷洒一层薄薄的白色显像粉液，由于毛细作用，渗入缺陷内的红色着色剂便渗出，从而在可见光下能看到在显像粉上呈现出的缺陷部位和形象	

3. 磁粉探伤（又称磁力探伤，MT）（见表 8-8）

表 8-8　磁粉探伤（GB/T9444—2007）

图示	 磁粉探伤原理图 1—磁极　2—磁力线　3—缺陷　4—磁粉　5—铸钢（铁）件
方法	磁粉探伤原理，如图所示 1）在被测铸件表面撒上磁粉，或浇上磁粉悬浮液 2）以电磁法对铸件建立磁场（表图所示），使铸件产生磁力线 3）当铸件表层有裂纹、孔隙或非金属夹杂物时，因磁阻增大，阻碍磁力线通过，使磁力线被迫弯曲由附近无缺陷处通过。铸件表面漏磁，该处产生磁粉聚集和定向现象，显示有缺陷存在，如表图所示
应用	适用于检查铸钢件、铸铁件这些铁磁材质。其优点是灵敏度高，操作简便，速度快。缺点是不能检查非铁磁材料，铸件较深部位的缺陷不能发现，被探伤表面要光滑

8.2.3　铸件内部缺陷检验方法

1. 压力试验

压力试验是检验铸件内部致密性的一种方法，见表 8-9。

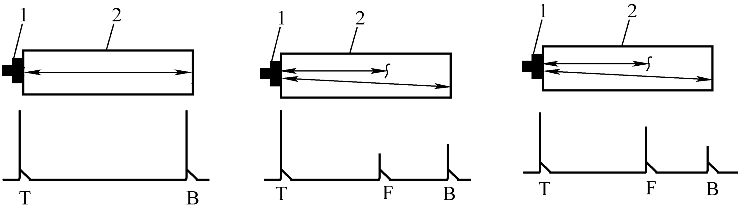
表 8-9　压力试验

分类	方　　法	应　　用
液压试验	将高压水或油通入铸件内腔，保压一定时间后，观察铸件上若有渗漏，或在规定试压时间内压力自动下降，表明铸件内部有缺陷（如缩松、裂纹）。此方法安全，便于发现缺陷	工作时承受压力不允许渗漏的铸件，如阀体、缸体、泵体等，均应进行压力试验
气压试验	将高压空气通过铸件内腔，保压一定时间，同时在铸件表面涂刷肥皂水，当有渗漏时，便有皂泡出现。表明铸件内部存在缺陷	

2. 超声波探伤

超声波探伤是用频率大于 2 万 Hz 的超声波探测铸件内部缺陷的方法，见表 8-10。

表 8-10　铸件内部缺陷的超声波探伤（UT）

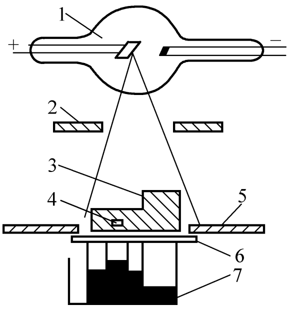
超声波探伤示意图	 a)　b)　c) a）无缺陷　b）有小缺陷　c）有大缺陷 1—探头　2—铸件
应用特点	1）适应范围广泛、灵敏度高、设备小巧、运用灵活 2）只能检验形状简单的铸钢件，只能探测缺陷的位置和大小，难以探知缺陷的性质 3）被测铸件表面要经过加工，表面粗糙度达 $Ra=6.3\mu m$
原理	超声波能在金属中传播，遇到缺陷界面能反射。利用这一原理发现铸件内部缺陷
方法	探伤时，在铸件上需要探伤部位表面（加工后表面粗糙度要符合技术要求）涂刷一层机油，使超声波探伤仪的探头能很好地与铸件表面贴合，让超声波能大部分进入铸件内部，然后，按一定的路线缓慢移动探头，同时，注意示波屏上的图形。根据图形，可确定缺陷深度和大小，如图 a、b、c 所示 图 a：表示铸件没有缺陷，示波屏上只有探测面上反射形成的 T 波和底面上反射形成的 B 波 图 b：表示有缺陷，除 T 波和 B 波外，还出现了因缺陷反射形成的 F 波。根据 F 波在 T 波和 B 波之间的位置，按比例可推测出缺陷的位置（即深度） 图 c：表示缺陷越大，经缺陷反射的能量也越多，F 波越高，而相应的 B 波要降低

注：关于铸铁件的超声探伤，须指出，铸铁件内部的石墨相当于裂纹或夹渣缺陷，尤其是片状石墨对超声探伤灵敏度干扰更大。但利用这一点，可用超声检测方法判断铸铁件中石墨类型和力学性能。

3. 射线探伤

是用射线检查铸件内部缺陷的方法，见表 8-11。

表 8-11　射线探伤（RT）（GB/T5677—2007）

射线探伤原理图	 1—射线源　2—光栏　3—铸件　4—孔洞缺陷　5—铅板 6—装有底片的暗盒　7—底片上阴影的变化
方法	X 和 γ 射线是两种常用的比可见光波长短的电磁波，它能穿透金属，使照相胶片感光 检测时，将铸件置于射线源的短波 X 或 γ 射线照射下（表图示）。金属吸收的射线能量与其总厚度成正比。当射线遇到金属内部的孔洞或母体金属有不同吸收量的夹杂时，射线传播受到影响，其强度发生变化，产生阴影效应，显示在照相底片上 图中，被测铸件右端厚而左端薄，因而，底片上的阴影呈现右端低而左端高。铸件左端的孔洞缺陷使其总厚度减小，因而，该处的阴影与周围的不同。底片冲洗后，便显示出缺陷图形
应用	1）射线探伤能发现铸件内部缺陷的类型，如缩孔、缩松、疏松、夹杂物、气孔、裂纹等 2）能探测的铸钢件厚度，X 射线小于 180mm，灵敏度高于 γ 射线。γ 射线为小于 300mm 3）应用时应注意安全防护

8. 2. 4　理化性能检验

理化性能具体检验内容和要求取决于铸件的验收条件。通常铸铁件把力学性能作为验收条件。铸钢件和非铁合金铸件把力学性能和化学成分作为验收条件，见表 8-12。

表 8-12　铸件理化性能检验方法

<table>
<tr><th>序号</th><th>主要内容</th><th colspan="3">检 验 方 法</th><th>应　　用</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">化学成分检验</td><td colspan="2">化学分析法</td><td>制取化学分析试样，进行定量分析，检查铸件化学成分是否符合技术要求</td><td>为改进炉料配比和控制熔炼工艺提供依据</td></tr>
<tr><td>火花鉴别法</td><td>铁液</td><td>含碳量低时，火花呈火星状、体积小、分叉少、数量多、亮度高、飞出速度快、距离远，空中存留时间短
含碳、硅量高时，火花呈火球状、体积大、分叉多、数量少、亮度低、飞出速度慢、距离近，空中存留时间长</td><td>快速鉴别钢铁化学成分</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th>主要内容</th><th colspan="3">检 验 方 法</th><th>应　　用</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">化学成分检验</td><td>火花鉴别法</td><td>砂轮磨削</td><td>含碳量低时，无围绕砂轮周面的火花，无羽状火花
含碳量增多时，火花数量少、叉状爆裂和羽状火花明显增多</td><td>快速鉴别钢铁化学成分</td></tr>
<tr><td rowspan="2">光谱分析法</td><td>发射光谱分析法</td><td>试样受电激发后，其原子辐射出该元素特有的光谱，并投射到分光计。测定光谱波长，可确定试样所含元素种类和数量</td><td rowspan="2">光谱分析法灵敏度高、精确、速度快、适用范围广，可测定金属元素，但对某些非金属元素的灵敏度很低，不宜采用</td></tr>
<tr><td>吸收光谱分析法</td><td>光源通过含有被测物质的介质时，光的一部分让被测元素的基态原子吸收。吸光大小与被测元素原子浓度成正比。以此求得被测元素含量</td></tr>
<tr><td>2</td><td>金相组织检验</td><td colspan="3">先将试块制成试样，然后，在金相显微镜上观察，必要时，可拍成照片，进行仔细研究分析</td><td>利于改进生产工艺提高铸件质量</td></tr>
<tr><td>3</td><td>力学性能检验</td><td colspan="3">依据铸件验收条件，制取单铸试样、附铸试样或本体试样，在专门测试设备上测定材料的强度、硬度、伸长率和冲击韧度等性能</td><td>检查要求的力学性能是否符合技术要求</td></tr>
</table>

8.3　铸件质量评定方法

铸造生产中，“质量”包含两方面的内容：一是产品质量，即铸件实物满足用户要求的程度，也就是适用性；二是工程质量，即制造铸件的生产过程对产品质量的保证程度。两者有相关性，但又不是一个概念。

铸件质量检查项目有三项：铸件实物（外部质量、内在质量）、技术管理、售后服务，见表 8-13。

表 8-13　铸件质量检查项目（JB/T7528—1994）

<table>
<tr><th rowspan="2">检查项目</th><th colspan="2">铸件实物</th><th rowspan="2">技术管理</th><th rowspan="2">售后服务</th></tr>
<tr><th>外部质量</th><th>内部质量</th></tr>
<tr><td>检查内容</td><td>表面粗糙度、尺寸精度、重量公差、表面缺陷及清理状况、焊补质量、浇冒口残留量</td><td>化学成分、力学性能、金相组织、内部组织、耐压试验</td><td>工艺文件、工艺纪律管理、计量及标准化管理、检测能力及质量保证管理</td><td>用户评价意见、售后服务信息、反馈意见</td></tr>
</table>

8.3.1 铸件实物质量评定

1. 铸件实物质量的各项次二级指标的加权系数（见表8-14）

表8-14 铸件成品检测项目与各项次二级指标的加权系数（JB/T7528—1994）

检测项目数 各项加权系数	5	6	7	8	9	10	11
A W_{11}	0.30	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.15
B W_{12}	0.25	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15
C W_{13}	0.20	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
D W_{14}	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10
E W_{15}	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
F W_{16}	—	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
G W_{17}	—	—	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
H W_{18}	—	—	—	0.05	0.05	0.05	0.05
I W_{19}	—	—	—	—	0.05	0.05	0.05
J W_{110}	—	—	—	—	—	0.05	0.05
K W_{111}	—	—	—	—	—	—	0.05
合计	1	1	1	1	1	1	1

2. 铸件实物质量可分等级和不分等级的二级指标满意度 *E*（见表8-15）

表8-15 铸件实物质量可分等级和不分等级的二级指标满足度 *E*

可分等级								不分等级		
项　目	不合格品	合格品		一等品		优等品		项目	不合格	合格
满足度 *E*	0	>60	≤80	>80	≤95	>95	≤100	满足度 *E*	0	100

（1）铸件实物质量可分等级的二级指标满意度 $E_{i \cdot j}$ 的计算公式

$$E_{i \cdot j}=\frac{n_1K_1+n_2K_2+n_3K_3+n_4K_4}{n_1+n_2+n_3+n_4} \tag{8-1}$$

式中 n_1、K_1——合格项次，合格品的满足度，$K_1=60$；

n_2、K_2——一等项次，一等品的满足度，$K_2=80$；

n_3、K_3——优等项次，优等品的满意度，$K_3=100$；

n_4、K_4——不合格项次，不合格品的满意度，$K_4=0$。

（2）铸件实物质量不分等级的二级指标满意度 $E_{i \cdot j}$ 的计算公式

$$E_{i \cdot j}=\frac{N_1K_1+N_2K_2}{N_1+N_2} \tag{8-2}$$

式中 N_1、K_1——合格项次，合格品满足度，$K_1=100$；

N_2、K_2——不合格项次，不合格品的满足度，$K_2=0$。

8.3.2　技术管理质量评定

1. 技术管理项下的二级指标加权系数

1）工艺文件及工艺纪律管理为 $W_{21}=0.50$。

2）标准化及计量管理为 $W_{22}=0.25$ 。

3）检测能力及质量保证管理位 $W_{23}=0.25$。

2. 技术管理项下各二级指标满足度（$E_{i.j}$）的评定方法

采用扣分形式，满分为100，根据检查项目的不满足情况逐项扣分，直至扣完为止，不得负分，见表8-16。

表 8-16　技术管理二级指标满足度（$E_{i.j}$）的评定方法（JB/T7528—1994）

分类	检查项目	检查内容	评分方法	得分	备　注
工艺文件及工艺纪律管理	1）工艺图、铸件图、工艺卡是否齐全	1）抽检铸件图样工艺卡	1）缺一项扣4分	100	对砂型硬度无要求的可不检第7）项 对涂料无要求的可不检第8）项
	2）工艺规程技术内容是否全面	2）抽检与被评产品有关的工艺规程	2）无工艺规程扣10分，不全面扣4分		
	3）有无工艺文件更改规定，手续是否齐全	3）检查更改手续的有关规定及更改记录	3）无规定扣10分，无记录扣6分		
	4）有无工艺纪律制度和考核办法	4）检查有关的规章制度及考核记录	4）无制度扣10分，无考核记录扣10分，执行不好扣4分		
	5）有无进厂原辅材料检验报告	5）检查原砂、炉料、焦炭、涂料质量检验报告及复验报告单	5）无来料报告扣6分，无复验报告扣4分，报告不全扣2分		
	6）型、芯砂检验合格率	6）抽查两个月型、芯砂常规检查报告单	6）型、芯砂合格率小于85%扣4分，不按规定执行的扣4分		
	7）砂型硬度检测记录	7）对机械造型抽查两个月报告	7）硬度合格率小于90%扣4分		
	8）涂料检测记录	8）涂料配比、粘度检测记录	8）无记录扣6分		
	9）工艺装备、模样检测和维修记录	9）工艺装备、模样的交检和维修记录	9）无记录扣6分		
	10）熔炼过程控制及记录	10）加料批量、炉前和炉后分析、出炉和浇注温度等熔炼记录	10）一项不合格扣2分，无记录扣10分		

（续）

分类	检查项目	检查内容	评分方法	得分	备注
工艺文件及工艺纪律管理	11）铸件清理和修补记录	11）铸件修补及复检记录	11）无复检记录扣4分	100	对砂型硬度无要求的可不检第7）项 对涂料无要求的可不检第8）项
	12）是否有工序质检员及工序间信息传递	12）质量信息传递及反馈记录处理结果	12）无工序质检员扣4分，不能及时处理质量信息扣4分		
标准化及计量管理	1）有并执行在行的国家标准和行业标准	1）检查有无标准，是否执行	1）无标准扣10分，执行老标准扣2分，贯彻不好扣4分	100	化学成分不作验收依据的不抽查第9）项 对试样无保存备查要求的可不检查第12）项
	2）有铸造企业（内控）标准或指标	2）是否有企业标准	2）无企业标准或内控指标扣4分		
	3）有标准化和计量管理制度	3）检查有关制度及计量检定报告	3）无制度扣4分，执行不好扣2分		
	4）有专（兼）职标准化计量机构或人员	4）检查是否做到落实，检查记录	4）无机构或人员扣4分		
	5）化学分析仪器齐全	5）检查化学分析仪器能否满足质量控制的要求	5）化学分析不全扣8分		
	6）金相组织和力学性能试验设备齐全	6）检查能否满足铸件生产和常规检测要求	6）缺一项扣4分		
	7）对检测仪器和设备定期进行计量检定	7）主要仪器和设备的有效计量合格证	7）主要仪器和设备无有效计量合格证者，每台扣4分		
	8）检验人员是否经过培训和持证上岗	8）理化检验和无损检测人员须有资格证书	8）试验人员无资格证书者，每人扣4分		
	9）抽查化学分析报告	9）抽查两个月原始记录	9）化学分析报告不全扣8分		
	10）抽查力学性能试验	10）抽查两个月原始记录	10）力学性能试验报告不全扣10分		
	11）质量保证及监督情况	11）抽查首批或定期检查记录	11）无档案记录扣4分		
	12）试样保管情况	12）备查的试样是否有编号和记录	12）试样不保存被查扣4分，管理不善扣4分		

8.3.3　售后服务的质量评定

1. 售后服务项下的二级指标加权系数

1）用户评价意见为 $W_{31}=0.30$。

2）售后服业务为 $W_{32}=0.40$。

3）信息反馈及处理为 $W_{33}=0.30$。

2. 售后服务项下各二级指标满足度（$E_{i\cdot j}$）的评定方法

采用扣分形式，满分为100，根据检查项目的不满足情况逐项扣分，直至扣完为止，不得负分，见表8-17。

表8-17　售后服务二级指标满足度（$E_{i\cdot j}$）的评定方法（JB/T 7528—1994）

序号	分类	检查项目	检查方法	评分方法	得分	备　注
1	产品质量	用户评价意见	抽检用户意见	满意不扣分；较满意扣10分；一般扣30分；不满意不得分	100	近一年内的评价意见
2	售后服务	定期访问用户，主动上门走访	抽查走访和售后服务记录	定期走访有记录不扣分；定期走访无记录扣10分；没有很好执行不得分	100	
3	信息反馈	质量信息反馈及处理	1）抽查信息反馈制度	1）无制度不得分，制度不健全扣10分	100	
			2）是否有专、兼职人员	2）无专职、兼职人员扣10分		
			3）抽查信息反馈记录	3）信息记录不全扣10分		
			4）信息反馈能否及时处理	4）信息反馈不及时扣10分，无处理结果扣15分		

8.3.4　铸件质量分等指数 *C*

计算质量分等指数 C 的前提条件，是铸件质量的所有检查项目都达到相关标准和铸件交货验收技术条件的合格品指标。铸件质量分等指数 C 采用“多指标加权综合评价法”计算而得。

1. 铸件质量分等指数 C 的计算公式

$$C=\Sigma C_{i\cdot j} \tag{8-3}$$

$$C_{i\cdot j}=E_{i\cdot j}W_iW_{i\cdot j} \tag{8-4}$$

式中　$C_{i\cdot j}$——二级指标贡献值；

$E_{i \cdot j}$——二级指标满足度；

W_i——一级指标加权系数，一级指标加权系数 W_i 规定：铸件实物质量加权系数 $W_1 = 0.85$，技术管理加权系数 $W_2 = 0.10$，售后加全系数 $W_3 = 0.05$，一级指标项下的二级指标加权系数之和为 1；

$W_{i \cdot j}$——二级指标加权系数。

2. 铸件合格品的评定

合格品按铸件质量分等指数 C 的计算结果，细分为三个质量等级：合格品、一等品、优等品。

1）合格品：$60 < C \leqslant 80$。

2）一等品：$80 < C \leqslant 95$。

3）优等品：$95 < C \leqslant 100$。

8.4 铸件产品验收

铸造厂将经检验合格的铸钢件交付购买方以后，购买方还有一个验收过程。此时，购买方验收的依据只能是双方商定的适用标准和订货时商定的技术条件。如全部条件均已达到，则应予验收。但购买方验收时，要注意以下几点。

1. 按商定的条件核定检验文件

合格证只说明产品已经检验部门检查合格，并不附任何测试数据。如订货时商定按合格证验收，则应相信作合格结论的部门，购买方收到铸件后无需进行核对。

如商定按检验报告验收，则购买方应予以核对，以确信检验的项目与要求一致，数据可信。

2. 进行核对分析或产品分析

购买方可按商定的条件进行核对分析或产品分析。

（1）核对分析　购买方可从代表每炉、每批铸件或每一铸件的试块或试棒上取样进行核对分析，抽样分析的数量应按双方的协议。化学分析的样品应取自试块铸造表面 6mm 以下。

核对分析对报告中的炉次分析结果的允许偏差，按适用的标准处理。

（2）产品分析　购买方认为必要时，可从成品铸件或已完成最后加工工序的产品上取样进行产品分析。抽样数量、取样部位均在订货时商定。化学成分对炉次分析的允许偏差按适用的标准。分析用的样品应取自铸造表面 6mm 以下。

因取样而致铸件或产品损坏时，费用由购买方承担。

3. 异议

购买方验收铸件时，如认为有下列情况，可在规定时间内向承制方提出异议，并尽快商定处理办法。

1）铸件的外观质量不符合要求。

2）铸件的尺寸不符合要求。

3）铸件涂装防护不当。

4）对检验报告的内容有疑问。

5）核对分析的结果不能令人满意。

4. 质询

在下列情况下，购买方可向承制方提出质询，质询意味着该批铸件有可能报废。

1）产品分析的结果不能令人满意。

2）铸件加工后加工表面上显露的缺陷超过允许限度。

3）某些需经若干加工工序以后才能由购买方执行检验的项目，经测试不符合要求。提出质询的时限，应由双方在订货时商定。

第 9 章　熔 模 铸 造

熔模铸造又称失蜡铸造，可不受铸造合金的限制，能铸造出外形复杂的铸件，能铸异形复杂小孔及薄壁铸件，铸件的轮廓清晰、表面粗糙度 Ra 值小、尺寸精确，是一种近净形成型的先进工艺。因此，广泛应用于航空航天、兵器船舶、石油化工、机械制造、家用电器、艺术工艺品、仪器仪表等领域。

熔模铸造工艺过程如图 9-1 所示。这种方法是用熔模材料制成熔模件并组成模组，然后，在模组表面涂覆多层耐火材料，待干燥固化后，将模组加热熔出模料形成型壳，型壳经高温焙烧后浇入金属液，冷却凝固后即得熔模铸件。

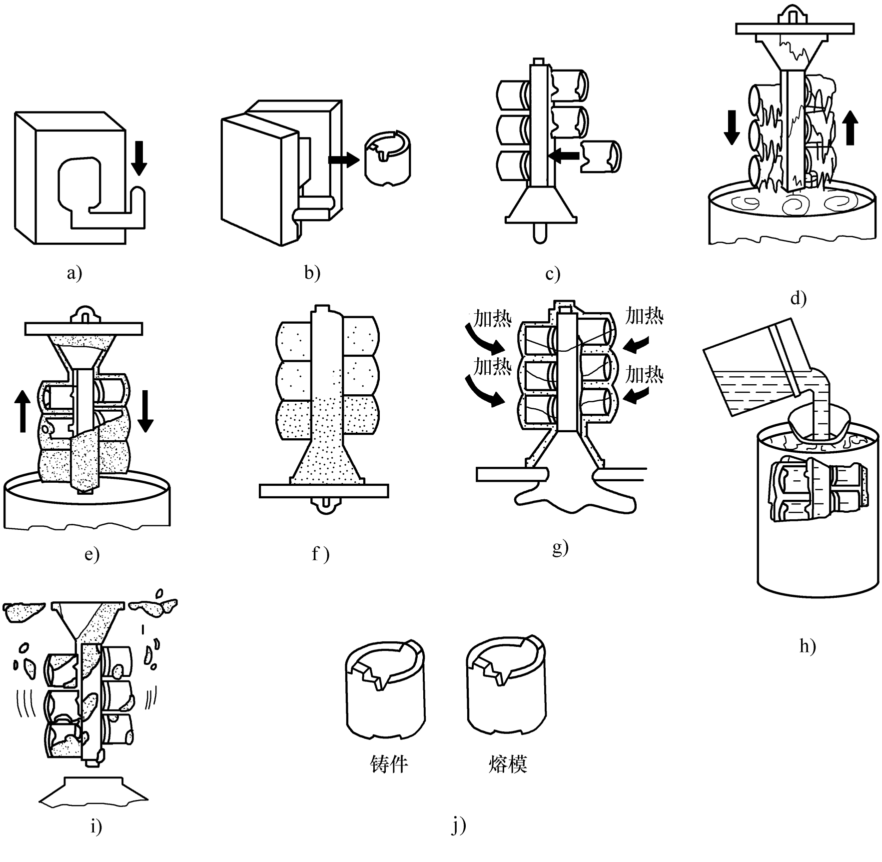


图 9-1　熔模铸造工艺过程图示

a）注射易熔模料　b）取出易熔模　c）组合　d）涂挂耐火涂料　e）模组撒砂
f）涂完料的模组　g）脱蜡焙烧　h）浇注　i）清壳、切割　j）铸件和熔模

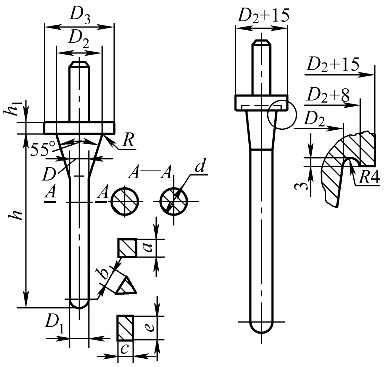
9.1　熔模铸件工艺设计

9.1.1　浇注系统

1. 浇口杯、直浇道的结构尺寸（见表 9-1）

表 9-1　浇口杯、直浇道的结构尺寸

浇口杯和直浇道图示



公用尺寸/mm					断面尺寸/mm						
					圆形断面		正方形断面	三角形断面	长方形断面		正六边形断面
D_2	D_3	h	h_1	R	D	D_1	a	b	c	e	d
50	63	250	10	5	20	18	—	—	—	—	20
58	70	250	10	5	25	23	18	—	18	25	25
66	78	300	10	5	30	28	22	27	22	30	30
73	85	300	10	5	35	33	25	31	25	35	35
80	92	300	12	5	40	37	29	—	—	—	40
87	98	320	12	5	45	42	32	—	—	—	45
94	106	320	12	5	50	47	36	—	—	—	—
100	113	320	12	5	55	52	—	—	—	—	—
108	120	320	12	5	60	57	—	—	—	—	—

2. 横浇道

横浇道用于分配液流、补缩、挡渣，常用于顶注式（利于补缩）或底注式（利于金属液平稳进入型壳）。断面形状有环形、圆盘形、方块形、条形。根据铸件实际情况灵活选用。

3. 内浇道

（1）易割内浇道的尺寸（见表 9-2、表 9-3）

表 9-2　圆形易割内浇道的结构尺寸

圆形易割内浇道尺寸/mm	直浇道直径/mm		
	$\phi35$	$\phi40$	$\phi45$
D_1	$\phi10\sim\phi16$	$\phi12\sim\phi18$	$\phi12\sim\phi20$
D_2	$\phi4\sim\phi12$	$\phi6\sim\phi14$	$\phi8\sim\phi16$

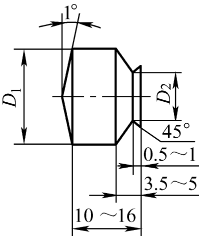
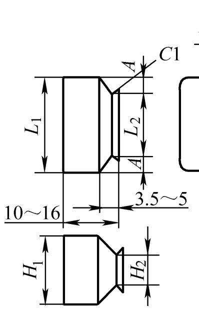


表 9-3　长方形易割内浇道的结构尺寸

简图及计算式	长方形易割内浇道尺寸/mm	直浇道直径/mm		
 $L_1=(1-1.5)H_1$ $L_2=L_1-2A$ $A=2\sim6$		$\phi35$	$\phi40$	$\phi45$
	H_1	10～16	12～18	12～20
	H_2	3～12	5～14	8～16

（2）内浇道直径和截面积的计算

内浇道直径 d_g　　　　$d_g=(0.6\sim1.0)D_C$

内浇道截面积 A_g　　　　$A_g=(0.4\sim0.9)A_C$　　　　（9-1）

式中　D_C——铸件热节圆直径；

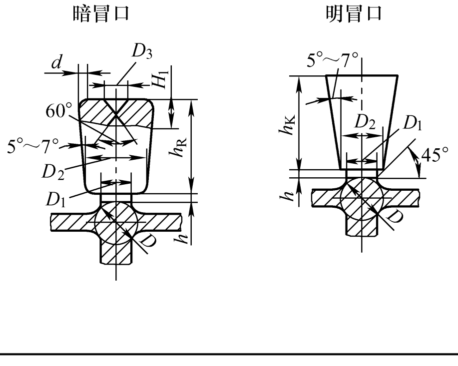
A_C——铸件热节截面积。

9.1.2　冒口设计

1. 冒口尺寸

中小型熔模铸件，多数情况下是利用直浇道（浇口杯）或横浇道实现补缩的。但遇到结构上有特殊要求时，则需单独设置冒口。冒口尺寸与热节圆直径的比例关系见表 9-4。

表 9-4　冒口尺寸与热节圆直径的比例关系



项目		比例关系
铸件热节圆直径		D
冒口颈	高度 h	4～10mm
	直径 D_1	$D_1\approx(0.7\sim1.0)D$
冒口根部直径 D_2		$D_2\approx(1.3\sim1.5)D$
冒口高度 h_R	明冒口	$h_R\approx(1.8\sim2.5)D$
	暗冒口	$h_R\approx(1.5\sim2.0)D$
出气孔直径 d		$d\approx(0.1\sim0.2)D$
连接桥位置 H_1		$H_1=\frac{1}{3}h_R$
D_3		$D_3\approx(0.3\sim0.5)D$

2. 工艺出品率

用工艺出品率校核冒口大小和数量。

$$工艺出品率=\frac{铸件重量}{铸件组重量}\times100\%=\frac{铸件重量}{铸件总重量+浇冒口重量}\times100\%$$

中碳钢铸件的工艺出品率（质量分数）高达70%左右，通常为40%～60%。

9.1.3　工艺参数

1. 最小壁厚（见表9-5）

表9-5　熔模铸件的最小壁厚　（单位：mm）

铸件材质	铸件轮廓尺寸/mm									
	>10～50		>50～100		>100～200		>200～350		>350	
	铸件最小壁厚/mm									
	推荐值	最小值	推荐值	最小值	推荐值	最小值	推荐值	最小值	推荐值	最小值
铅锡合金	1.0～1.5	0.7	1.5～2.0	1.0	2.0～3.0	1.5	2.5～3.5	2.0	3.0～4.0	2.5
锌合金	1.5～2.0	1.0	2.0～3.0	1.5	2.5～3.5	2.0	3.0～4.0	2.5	3.5～5.0	3.0
铸铁	1.5～2.0	1.0	2.0～3.5	1.5	2.5～4.0	2.0	3.0～4.5	2.5	4.0～5.0	3.5
铜合金	2.0～2.5	1.5	2.5～4.0	2.0	3.0～4.0	2.5	3.0～5.0	3.0	4.0～6.0	3.5
镁合金	2.0～2.5	1.5	2.5～4.0	2.0	3.0～4.0	2.5	3.5～5.0	3.0	4.0～6.0	3.5
铝合金	2.0～2.5	1.5	2.5～4.0	2.0	3.0～5.0	2.5	3.5～6.0	3.0	4.0～7.0	3.5
碳钢	2.0～2.5	1.5	2.5～4.0	2.0	3.0～5.0	2.5	3.5～6.0	3.0	4.0～7.0	4.0
高温合金	0.9～2.0	0.6	1.5～3.0	0.8	2.0～4.0	1.0	—	—	—	—

注：对于局部尖锐部位，可以铸出比表中最小值小30%～50%的壁厚。

2. 铸造圆角

为预防产生裂纹或疏松，熔模铸件上各转角处一般都设计成圆角。圆角半径公式：

转角的内圆角半径 r

$$r=(d+\delta)/k \qquad (9\text{-}2)$$

转角的外圆角半径 R

$$R=r+(d+\delta)/2 \qquad (9\text{-}3)$$

式中　d、δ——连接壁的壁厚（mm）；

k——圆角系数，根据角度大小由图9-2选取。

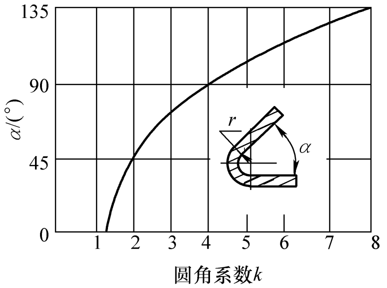
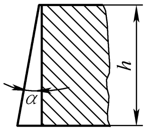
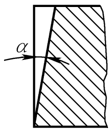
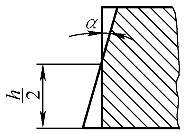


图9-2　转角圆角系数

提示：为便于起模，对于处于分型面部位的铸件的凸缘、法兰外缘、孔的边缘等转角，应避免采用外圆角过渡。

3. 铸造斜度（见表9-6）

表9-6　熔模铸件的铸造斜度

斜度形式	 增大铸件壁厚	 减小铸件壁厚	 增减铸件壁厚
适用范围	1）加工面 2）壁厚<5mm的非加工面	壁厚>10mm的非加工面	壁厚5~10mm的非加工面
取值	铸造斜度面高 h/mm	非加工面斜度	
		外表面	内表面
	≤20	0°20′	1°
	>20~50	0°15′	0°30′
	>50~100	0°10′	0°30′
	>100	0°10′	0°15′

4. 最小铸出孔（见表9-7）

表9-7　熔模铸件最小铸出孔的孔径与深度

孔的直径 d/mm	最大孔深 h/mm		孔的直径 d/mm	最大孔深 h/mm	
	通　孔	不通孔		通　孔	不通孔
3~5	5~10	≈5	>40~60	>120~200	>50~80
>5~10	>10~30	>5~15	>60~100	>200~300	>80~100
>10~20	>30~60	>15~25	>100	>300~350	>100~120
>20~40	>60~120	>25~50			

注：1. 熔模铸件上，孔径 d<2.5~3.0mm，孔高与孔径比 h/d>5 的通孔和 h/d>5 的不通孔，不予铸出。
2. 对于特殊要求的小而复杂的孔和内腔，采用陶瓷型芯或石英玻璃管型芯铸出。

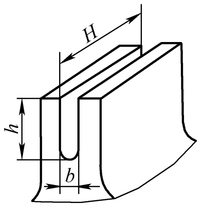
5. 铸槽

铸槽尺寸太深太窄，不仅上涂料、撒砂操作困难，同时涂料层过薄强度不够，不容易清砂，因此，铸槽的宽度和深度都应有一定限制，见表9-8。

6. 熔模铸件尺寸精度

（1）水玻璃型壳熔模铸钢件尺寸公差（见表9-9）

表 9-8 熔模铸件（钢、铁）的铸槽尺寸

图 示								
铸槽宽 b/mm	≥2.5	4	6	8	10	16	20	24
最大槽深 H、h/mm	≤5	8	20	32	46	80	120	150

注：非铁合金熔模铸件的铸槽允许比表中数值更窄、更深些。

表 9-9 熔模铸钢件尺寸公差（GB/T 6414—1999） （单位：mm）

铸件基本尺寸	铸件尺寸公差等级			铸件基本尺寸	铸件尺寸公差等级		
	CT5	CT6	CT7		CT5	CT6	CT7
≤3	0.28	0.40	0.56	>40~63	0.50	0.70	1.00
>3~6	0.32	0.48	0.64	>63~100	0.56	0.78	1.10
>6~10	0.36	0.52	0.74	>100~160	0.62	0.88	1.20
>10~16	0.38	0.54	0.78	>160~250	0.70	1.00	1.40
>16~25	0.42	0.58	0.82	>250~400	0.78	1.10	1.60
>25~40	0.46	0.64	0.90				

注：1. 铸件基本尺寸为铸件图上包括加工余量后所给出的尺寸。
2. 该表为采用水玻璃型壳熔模铸造时达到的铸件精度。
3. 铸件精度共分 16 级，熔模铸件的尺寸公差等级为 CT5~CT7。

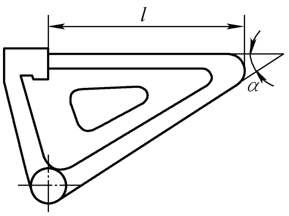
（2）非铁合金熔模铸件的圆角半径公差（见表 9-10）

表 9-10 非铁合金熔模铸件的圆角半径公差 （单位：mm）

圆角半径	≈3	>3~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80	>80
公差	0.50	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25

（3）铸件角度公差（见表 9-11）

表 9-11 铸件角度公差

图 示	

（续）

短邻边长度 l/mm	角度 α 公差	短邻边长度 l/mm	角度 α 公差	短邻边长度 l/mm	角度 α 公差
≤10	1°30′	>30 ~ 50	45′	>120 ~ 180	15′
>10 ~ 18	1°20′	>50 ~ 80	30′	>180 ~ 260	15′
>18 ~ 30	1°	>80 ~ 120	20′	>260 ~ 360	10′

（4）铸件平面度、直线度尺寸公差（见表9-12）

表9-12　铸件平面度、直线度尺寸公差　（单位：mm）

铸件长度	一般公差	特别公差	铸件长度	一般公差	特别公差
<25	0.2	0.1	≥50 ~ 100	0.6	0.3
≥25 ~ 50	0.4	0.2	≥100 ~ 150	0.8	0.4

（5）熔模铸件圆度尺寸公差（见表9-13）

表9-13　熔模铸件圆度尺寸公差　（单位：mm）

直　　径	一 般 公 差	特 别 公 差
≤10	±0.25	±0.15
>10 ~ 25	±0.40	±0.20
>25 ~ 50	±0.75	±0.30

7. 表面粗糙度（见表9-14）

表9-14　熔模铸件表面粗糙度 *Ra*　（单位：μm）

工 艺 方 法	一　　般	修　磨　面
糊状蜡、水玻璃型壳	12.5 ~ 6.3	3.2
液态蜡、硅酸乙酯或硅溶胶型壳	6.3 ~ 3.2	1.6 ~ 0.8

8. 加工余量

（1）不同加工方法的单面加工余量（见表9-15）

表9-15　不同加工方法的单面加工余量　（单位：mm）

加工面	加工方法							
	车削	铣削	磨削	无心磨削	拉削	钻孔	扩孔	镗孔
平面	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	0.2 ~ 0.5	—	0.5 ~ 1.0	—	—	—
外圆	0.7 ~ 0.2	—	0.2 ~ 0.5	0.2 ~ 0.7	—	—	—	—
内孔	—	—	0.2 ~ 0.5	—	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	0.5 ~ 1.54
叶片型面	—	—	0.15 ~ 0.5	—	—	—	—	—

（2）熔模铸件的单面加工余量（见表9-16）

表9-16 熔模铸件的单面加工余量 （单位：mm）

铸件最大尺寸	≤50	>50～120	>120～250	>250～400	>400～630
单面加工余量	0.5	0.5～1.0	1.0～1.5	1.5～2.0	2.0～3.0
浇口面加工余量	2.0～4.0	2.0～4.0	2.0～4.0	2.0～4.0	2.0～4.0

9. 熔模铸件的线收缩率

熔模铸件的尺寸受合金收缩、模料收缩、型壳膨胀多因素的影响，故其收缩率为综合影响的结果，称为综合线收缩率。

（1）熔模铸钢件的综合线收缩率（见表9-17）

表9-17 碳钢、合金结构钢熔模铸件的综合线收缩率

铸件壁厚/mm	模料型壳分类①	综合线收缩率②（%）		
1～3	Ⅰ	0.6～1.2	0.4～1.0	0.2～0.8
	Ⅱ	1.2～1.8	1.0～1.6	0.8～1.4
	Ⅲ	1.6～2.2	1.4～2.0	1.1～1.7
>3～10	Ⅰ	0.8～1.4	0.6～1.2	0.4～1.0
	Ⅱ	1.4～2.0	1.2～1.8	1.0～1.6
	Ⅲ	1.8～2.4	1.6～2.2	1.3～1.9
>10～20	Ⅰ	1.0～1.6	0.4～1.4	0.6～1.2
	Ⅱ	1.6～2.2	1.4～2.0	1.2～1.8
	Ⅲ	2.0～2.6	1.8～2.4	1.5～2.1
>20～30	Ⅰ	1.2～1.8	1.0～1.6	0.8～1.4
	Ⅱ	1.8～2.4	1.6～2.2	1.4～2.0
	Ⅲ	2.2～2.8	2.0～2.6	1.7～2.3
>30	Ⅰ	1.4～2.0	1.2～1.8	1.0～1.6
	Ⅱ	2.0～2.6	1.8～2.4	1.6～2.2
	Ⅲ	2.4～3.0	2.2～2.8	1.9～2.5

① 指所采用的模料和型壳材料：

Ⅰ—低温模料，硅酸乙酯或硅溶胶-硅石粉涂料，多层型壳。

Ⅱ—低温模料，水玻璃-硅石粉涂料，多层型壳。

Ⅲ—中温模料，硅酸乙酯或硅溶胶-电熔刚玉涂料，多层型壳。

② 高温合金综合线收缩率参照表中Ⅲ选用。

（2）非铁合金熔模铸造的综合线收缩率（见表9-18）

表 9-18　非铁合金熔模铸造的综合线收缩率

合金类型	铸件壁厚/mm	模料型壳分类	综合线收缩率（%）		
			自由收缩	部分受阻收缩	受阻收缩
无锡青铜	1～3	Ⅰ Ⅱ	1.3～1.7 1.5～1.8	1.0～1.2 1.2～1.5	— —
	>3～10	Ⅰ Ⅱ	1.8～2.2 2.0～2.4	1.3～1.7 1.5～2.0	— —
	>10～20	Ⅰ Ⅱ	2.2～2.5 2.5～2.8	1.8～2.0 2.0～2.2	— —
锡青铜	1～3	Ⅰ Ⅱ	1～1.3 1.1～1.5	0.8～1.0 1.0～1.4	0.4～0.8 0.8～1.2
	>3～10	Ⅰ Ⅱ	1.5～1.8 1.6～2.0	1.0～1.5 1.2～1.8	0.8～1.2 0.9～1.4
	>10～20	Ⅰ Ⅱ	1.8～2.0 2.0～2.4	1.5～1.8 1.6～2.0	1.0～1.4 1.4～1.6
锌黄铜	1～3	Ⅰ Ⅱ	1.6～1.9 1.8～2.0	1.0～1.4 1.2～1.8	— —
	>3～10	Ⅰ Ⅱ	1.8～2.1 2.1～2.3	1.4～1.8 1.8～2.2	— —
	>10～20	Ⅰ Ⅱ	2.2～2.4 2.4～2.6	1.8～2.2 2.0～2.4	— —
铝合金	1～3	Ⅰ Ⅱ	0.9～1.2 1.0～1.3	0.7～0.9 0.8～1.0	0.3～0.5 0.3～0.6
	>3～10	Ⅰ Ⅱ	1.2～1.4 1.3～1.5	0.8～1.1 1.0～1.3	0.5～0.7 0.6～0.8
	>10～20	Ⅰ Ⅱ	1.3～1.5 1.5～1.7	1.1～1.3 1.2～1.5	0.6～0.8 0.8～1.0

注：Ⅰ—低温模料，硅酸乙酯-硅石粉涂料，多层型壳。
　　Ⅱ—中温模料，硅酸乙酯-硅石粉涂料，多层型壳。

（3）常用合金的自由收缩率（见表 9-19）

表 9-19　常用合金的自由收缩率

铸钢		非铁合金	
合金牌号或代号	自由收缩率（%）	合金牌号或代号	自由收缩率（%）
RZG200-400	2.35～2.45	ZCuSn10P1	1.4～1.5
RZG270-500	2.2～2.4	ZCuZn40Pb2	2.1～2.2
RZG310～570	2.15～2.35	ZCuZn40Mn2	1.45～1.5
RZG340-640	2.1～2.3	ZL109	1.2～1.6
ZG35Mn	2.0～2.2	ZL105	1.0
ZG35CrMnSi	2.2～2.3	ZL102	1.1
ZG12Cr13	1.8～2.2	ZL101	1.3
—	—	ZL203	1.3～1.5

（4）石蜡-硬脂酸模料与收缩率（见表9-20）

表9-20　石蜡-硬脂酸模料与收缩率

序号	模料成分（质量分数,%）		自由收缩率（%）
	石　蜡	硬脂酸	
1	70	30	0.2～0.5
2	60	40	0.2～0.5
3	50	50	0.5～0.8
4	30	70	0.7～0.9

9.2　压型

9.2.1　常用压型的类型

压型是用来制造易熔模的重要工艺装备。常用压型的类型见表9-21。

表9-21　常用压型的类型

序号	分类	材料	尺寸精度	型腔表面粗糙度 $Ra/\mu m$	使用寿命	制造成本	应用范围
1	机械加工压型	钢、铜合金、铝合金	可充分满足设计要求	1.6～0.4	>10万次	高	1）生产批量大的铸件 2）要求尺寸精度高、表面粗糙度值低的铸件
2	低熔点合金铸造压型	熔点<300℃的低熔点合金	低于机械加工压型	3.2～0.8	>几千次	较低	1）批量较大（几千件）的铸件 2）机械加工困难、型腔复杂的压型 3）试生产的铸件
3	石膏压型	石膏（母模可用木模）	低	6.3～1.6	—	低	1）单件小批生产 2）精度要求较低的铸件 3）试生产的铸件
4	硅橡胶压型	硅橡胶	不高	精度低	短	低	1）复杂工艺制品 2）尺寸精度不高的试验铸件
5	环氧树脂压型	塑料、金属母模（钢、铝、铜的机械加工件）	略低于铸造压型	比铸造压型低	—	低	1）批量较小；试生产的铸件 2）要求尺寸精度低的铸件 3）加工困难、型腔复杂的压型

9.2.2　机械加工压型

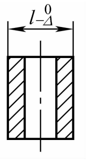
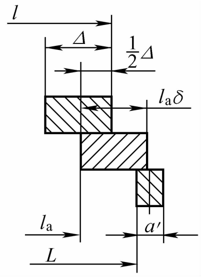
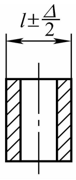
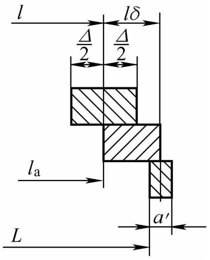
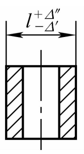
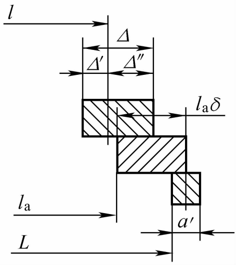
压型主要由型体、型芯、抽芯机构、起模机构、定位导向机构、锁紧机构和排气槽等构成。常见的压型结构有六种：水平两开型、叠型三开型、滑动三开型、旋转三开型、上下左右四开型、多块组合型等。其中，水平两开压型只有一个水平分型面，结构简单，使用最为广泛。

1. 型腔尺寸计算

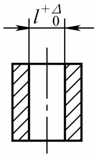
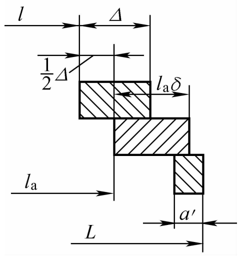
型腔尺寸受金属收缩、模料收缩、型壳膨胀、压型制造公差、铸件结构等多种因素影响，要精确计算是困难的。对尺寸要求高的铸件，常采用试模后再进行修正。

（1）型腔尺寸计算（见表9-22）

表 9-22　型腔尺寸计算

序号	铸件公差类型	计算公式①	图　解
1		$L^{+a'}_{\ 0}=\left[\left(l-\frac{\Delta}{2}\right)(1+\delta)-\frac{a'}{2}\right]^{+a'}_{\ 0}$ (9-4)	 l_a—铸件公差平均值（下同）
2		$L^{+a'}_{\ 0}=\left[l(1+\delta)-\frac{a'}{2}\right]^{+a'}$ (9-5)	
3		$L^{+a'}_{\ 0}=\left[\left(l-\Delta'+\frac{\Delta}{2}\right)(1+\delta)-\frac{a'}{2}\right]^{+a'}_{\ 0}$ (9-6)	

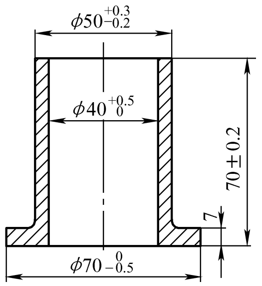
（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th>铸件公差类型</th><th>计算公式①</th><th>图　　解</th></tr>
<tr><td>4</td><td>
</td><td>$$L^{-a'}_{0}=\left[\left(1+\frac{\Delta}{2}\right)(1+\delta)+\frac{a'}{2}\right]^{-a'}_{0}$$ (9-7)</td><td>
</td></tr>
<tr><td>5</td><td>自由尺寸</td><td>$L=(1+\delta)l\pm a'$ (9-8)</td><td></td></tr>
</table>

① 公式中：L—型腔尺寸（mm）；l—铸件基本尺寸（mm）；Δ—铸件公差（mm）；Δ'、Δ''—铸件偏差值（mm）；δ—综合收缩率（包括金属收缩、模料收缩、型壳膨胀）（%）；a'—压型制造公差（mm），型腔偏差取负值，芯子偏差取正值。

（2）型腔尺寸计算案例（见表9-23）

表9-23 熔模铸件型腔尺寸计算案例

<table>
<tr><td>铸件图</td><td colspan="3">
</td></tr>
<tr><td colspan="3">数　　据</td><td rowspan="2">按表9-22中公式计算，型腔尺寸计算结果</td></tr>
<tr><td colspan="3">根据铸件图，由表9-9查取铸件公差，相应的综合收缩率如下：</td></tr>
<tr><td>尺寸/mm</td><td>铸件公差
Δ/mm</td><td>综合收缩率
δ（%）</td><td rowspan="7">1）按式（9-6）计算，$\phi50^{+0.3}_{-0.2}$ mm的型腔尺寸为$\phi51.25^{+a'}_{0}$ mm
2）按式（6-4）计算，$\phi70^{0}_{-0.5}$ mm的型腔尺寸为$\phi71.50^{+a'}_{0}$ mm
3）按式（9-5）计算，$\phi70^{+0.2}_{-0.2}$ mm的型腔尺寸为$\phi71.70^{+a'}_{0}$ mm
4）按式（9-7）计算，$\phi40^{+0.5}_{0}$ mm的型腔尺寸为$\phi41.31^{+a'}_{0}$ mm
5）按式（9-8）计算，7mm的型腔尺寸为7.16mm</td></tr>
<tr><td>$\phi50^{+0.3}_{-0.2}$</td><td>0.5</td><td>2.5</td></tr>
<tr><td>$\phi70^{0}_{-0.5}$</td><td>0.5</td><td>2.5</td></tr>
<tr><td>$\phi70^{+0.2}_{-0.2}$</td><td>0.4</td><td>2.6</td></tr>
<tr><td>$\phi40^{+0.5}_{0}$</td><td>0.5</td><td>2.5</td></tr>
<tr><td>7</td><td>0.4</td><td>2.2</td></tr>
<tr><td colspan="3">压型制造公差 a'=0.1mm</td></tr>
</table>

2. 压型的精度和表面粗糙度

压型的加工精度和表面粗糙度根据铸件的技术要求而定。一般型腔尺寸的制造公差为铸件公差的1/4～1/6。型腔的表面粗糙度应比铸件表面粗糙度值低3～4级。

压型的加工精度参考表9-24选取；压型各部位的表面粗糙度按表9-25选取。

表9-24　压型的加工尺寸精度

压型部位	型腔及型芯的成型部位	活块、镶块、顶杆等配合部位	不影响铸件尺寸的自由尺寸
尺寸精度	IT6～IT10	IT6～IT9	IT12～IT14

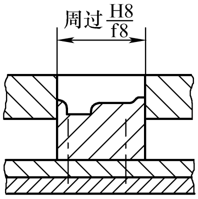
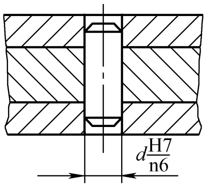
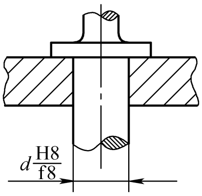
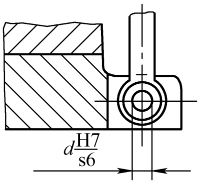
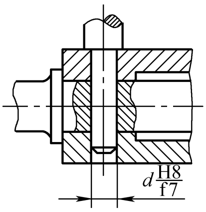
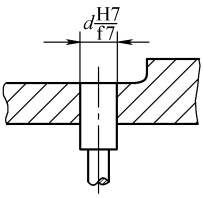
表9-25　压型各部位的表面粗糙度

压型部位	型腔表面	芯销、活块、镶块的配合面、定位面	分型面	浇注系统表面	非工作部分表面
表面粗糙度 Ra/μm	0.2～0.8	0.8～3.2	0.8～1.6	1.6～6.3	6.3～12.5

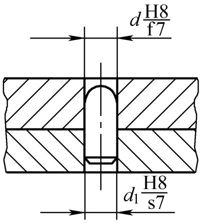
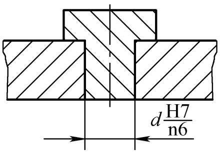
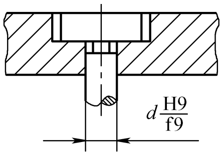
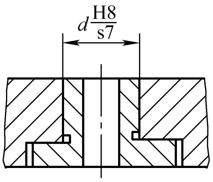
3. 压型组合件的配合

压型由很多部件组合而成，这些组合件相互间的配合，根据压制易熔模的动作要求确定。压型常用组合件的配合见表9-26。

表9-26　压型常用组合件的配合

组合件	配合图示	组合件	配合图示
顶模块与型体		稳定销与连接件	
定位销与型体		销轴与型体	
型体与型芯活块		型体与镶块	

（续）

组合件	配合图示	组合件	配合图示
复位杆与型体		顶杆与型体	
芯销与型芯、型体或活块		销套与型体	

4. 压型材料及热处理要求

压型常用材料及热处理要求见表9-27。

表9-27 压型常用材料及热处理要求

零件名称	材 料	热 处 理
型体、型芯、镶块、活块	2A50	>90HBW
	ZL102	—
	45钢	调质，28~32HRC
定位销、销套、插销、顶杆、复位杆	45钢	淬火，35~40HRC
垫板、压板、顶杆固定板、手柄	45钢、Q235A	正火
浇注系统	ZL102	—

5. 压型总装技术要求

1）分型面配合间隙不大于0.05mm。

2）各组合块及上下型错位不大于0.05mm。

3）顶杆不高出型腔表面，可低于型腔表面0.05mm以内；复位杆不高出分型面，可低于分型面0.05mm以内。

4）型腔表面应无凸凹不平及毛刺等缺陷，型腔边缘应保持锐边。

5）总装后，经压蜡试模，取模时无阻卡现象。蜡模飞边厚度不大于0.05mm。

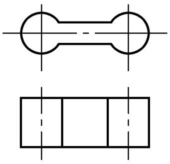
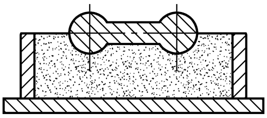
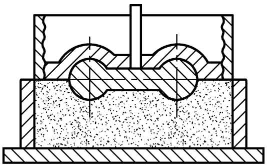
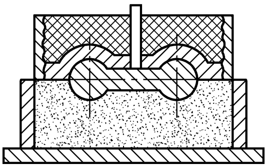
6）压型外表面应打上零件号、制造日期和其他标记。

9.2.3　其他材料压型

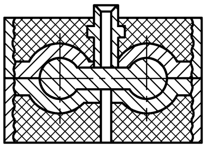
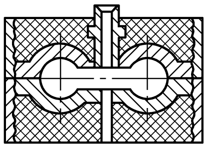
1. 易熔合金压型

易熔合金压型（又称低熔点合金压型）是铸造压型的一种，适用于尺寸精度和表面粗糙度要求不高的熔模铸件的中、小批量生产以及试制生产。用铸造方法制作易熔合金压型的工艺过程见表 9-28。

表 9-28　铸造方法制作易熔合金压型的工艺过程

序号	工序	工艺操作要点	图　示
1	制作母模	母模又称标准模（见右图）。母模尺寸要考虑铸件、蜡模、压型合金三者的总收缩率。母模的材料为钢或有色合金。母模通过机械加工或手工制作完成，要保证母模有较高的精度	
2	准备附件	附件均为金属件，包括：型框、型框定位销、心棒、顶模杆、压蜡口等。型框用焊接、铸造、机械加工等方法制造	
3	制造假箱	用粘土或石膏材料制作一个假箱（见右图）。在假箱分型面和母模上涂刷分型剂，对假箱和母模进行干燥处理，使分型面硬化	
4	制作下半型	将下型框扣在假箱上，放置顶模杆并固定好位置。预热母模、假箱砂型和下型框，当表面温度达到 70～100℃时，浇入较厚一层低熔点合金金属液（见右图 a） 待合金凝固冷却到 40～50℃时，浇入 45℃左右的填充层塑料（见右图 b）。塑料冷却硬化后，取出顶模杆，则下半型制作完毕	 a)  b)

（续）

序号	工序	工艺操作要点	图　示
5	制作上半型	将下半型翻转作为假箱，在分型面上涂刷分型剂，装套上型框，安放浇口嘴，快速预热母模、分型面、上型框等表面到 50 ~ 80℃（预热时不要烤坏下半型填料层及塑料），浇入较厚一层低熔点合金金属液，待合金凝固冷却到 40 ~ 45℃时，浇入 45℃左右的填充层塑料（见右图） 待填料层塑料冷却硬化后，上半型制作完毕	
6	取模合型	轻轻拍动上半型，向上提起上半型，取出母模，检查上下型腔质量。如果型腔质量满意，将上半型扣在下半型上（见右图），整个压型制作完毕	

2. 石膏压型

石膏压型是利用石膏浆料经灌注、凝结后制成的一种压型。石膏压型广泛用于熔模铸件的试生产和单件、小批生产（批量小于 150 件）。石膏压型主要是 β 型石膏（建筑石膏）压型。也可采用 α 型石膏压型、电铸喷镀石膏压型。

（1）β 型石膏压型

1）母模。金属实样或优质木材制成的木模。

2）原材料。β 型熟石膏。

3）石膏料浆的配比见表 9-29。

表 9-29　石膏料浆的配比

组　分	β 型熟石膏（100 筛号）	水	硼　砂	硫酸钾
		占石膏质量分数（%）		
配比（质量分数,%）	100	通常用量　45 ~ 55 简单压型　40 ~ 45 复杂压型　≤70	1 ~ 4	1

注：1. 硼砂是缓凝剂，用于制造复杂压型时延缓石膏的凝固时间。
2. 硫酸钾是促凝剂，在需要加速凝结时使用。

4）分型剂见表 9-30。

表 9-30　石膏压型用分型剂

分型剂名称	配方（质量分数,%）					备　注
	肥皂	热水（60 ~ 80℃）	植物油	硬脂酸	煤油	
肥皂水	5 ~ 10	90 ~ 95	—	—	—	
煤油-硬脂酸液	—	—	—	20	80	工业硬脂酸热熔后，倒入煤油中混合
凡士林	—	—	适量	—	—	加热熔化后，加入适量植物油调稀

5）压型干燥规范见表9-31。

表9-31　石膏压型干燥规范

干燥温度/℃	100～120	80	40～50	室　温
干燥时间/h	2	12	2～3d	6～7d

6）浸渍工艺参数见表9-32。

表9-32　石膏压型的浸渍工艺参数

浸渍介质名称	浸渍介质温度/℃	浸渍时间/min	压型加热温度/℃
石蜡	90～100	50～60	25～30
甘性油	50～80	50～60	30～40

7）石膏压型制造过程见图9-3。

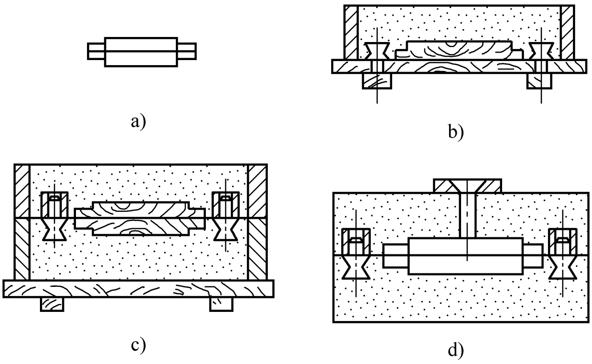


图9-3　石膏压型制造过程示意

a）母模　b）灌注下压型　c）灌注上压型　d）压型装配

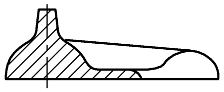
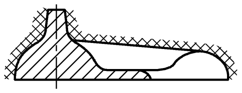
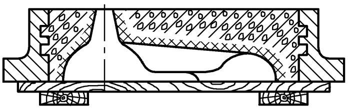
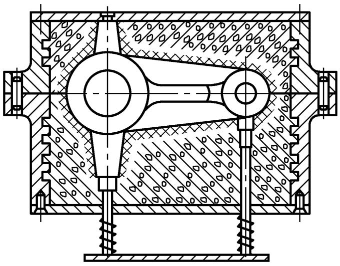
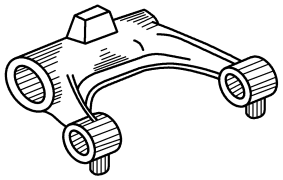
注：1. 母模材料选用优质木材、钢、铜、铝、塑料；母模尺寸精度不低于IT11，表面粗糙度 $Ra=0.8\sim3.2\mu m$。

2. 工艺流程：设计石膏压型和母模→制造验收母模→造型→涂分型剂→制备石膏浆料并灌浆→20～30min后取出母模→干燥→修整→浸渍处理→装配→验收入模具库。

（2）α型半水石膏压型　α型半水石膏强度高，可作石膏压型，又可作铸型，直接浇注贵金属及非铁合金的薄壁、精密、复杂的铸件。用作压型时，加水量较少，凝结时间较长；用作铸型时，需加入总量70%的耐火粉料。

（3）电铸喷镀石膏压型　电铸喷镀石膏压型，又称电铸喷镀压型，是先在母模基础上，电铸喷镀制得一个有一定厚度的金属腔体薄壳，然后再灌注石膏，装配成压型，见表9-33。

表 9-33 电铸喷镀石膏压型的制造

<table>
<tr><th>工 序</th><th>图 示</th><th>工艺流程</th><th>操作要点</th></tr>
<tr><td>母模</td><td></td><td rowspan="5">母模设计制造
⇩
母模脱脂、酸洗
⇩
母模分模面上涂膏
⇩
母模镀镍
⇩
母模镀铜
⇩
母模清洗、干燥喷砂处理
⇩
金属喷镀母模
⇩
清除涂膏
⇩
消除母模
⇩
酸洗、清洗、干燥型腔薄壳
⇩
放入箱框、灌注石膏
⇩
装配、检验、入模具库</td><td rowspan="5">1）母模材料：铝合金或锌合金
2）母模净化：用汽油擦净母模，用氧化镁或滑石粉脱脂，用冷水清洗；然后，再用盐酸溶液（或氢氟酸溶液）清洗，再用冷水清洗
3）涂膏配比
w（石蜡）50%
w（松香）50%
4）在电镀槽内镀镍，镍层厚度 8～10μm
5）镀铜工艺
①镀液配方：每升质量分数为 18% 的硫酸铜溶液中，加入 70% 盐酸（密度 1.8g/cm³）和精馏醋精 8g
②通电规范：先以 1.3～2.5A/dm² 电流密度通电 10～15min，再以 10～20A/dm² 电流密度通电至镀层厚度为 0.8～1.2mm
6）用金属喷枪喷铸铜或钢至厚度 2～2.5mm
7）铝合金母模用熔融 Na₂O 腐蚀出。锌合金母模采用加热至 450℃熔出
8）浇注石膏衬托</td></tr>
<tr><td>母模上电铸层</td><td></td></tr>
<tr><td>灌注石膏衬托</td><td></td></tr>
<tr><td>压型装配</td><td></td></tr>
<tr><td>蜡模</td><td></td></tr>
</table>

3. 硅橡胶压型

硅橡胶压型适用于形状复杂、取模不易而尺寸精度要求不高的铸件。

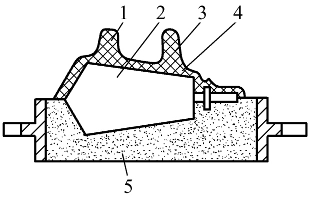
（1）硅橡胶料浆的配比（见表 9-34）

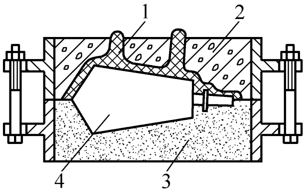
表 9-34 硅橡胶料浆的配比

材料	基体材料	固化剂	催化剂	填 料
	硅橡胶（106#或 107#）	正硅酸乙酯	白炭黑或二丁硅酸二丁基锡	滑石粉（质量分数）
配比	100g	5mL	1～1.5mL	20%

（2）硅橡胶压型制造工艺流程　见表 9-35。

表 9-35　硅橡胶压型的制造工艺流程

<table>
<tr><th>工　序</th><th>图　　示</th><th>流　　程</th><th>说　　明</th></tr>
<tr><td>贴敷
橡胶泥</td><td>

1—浇道　2—母模　3—冒口
4—橡胶泥　5—型砂</td><td rowspan="2">1）设计硅橡胶压型及母模
2）制造母模并验收
3）造型
4）涂分型剂（见表 9-30）
5）贴敷橡胶泥
6）配制石膏料浆、灌注石膏靠模
7）清除橡胶泥
8）涂分型剂（见表 9-30）
9）配制硅橡胶料浆、压铸硅橡胶料浆
10）固化
11）取模
12）修整
13）装配
14）验收、入模具库</td><td rowspan="2">1）橡胶泥柔软后，切成 2cm 左右的片状，贴附时，注意留有注蜡孔和定位
2）石膏料浆配比，采用表 9-29 中的通常用量
3）硅橡胶料浆配比见表 9-34
4）固化时间：20h</td></tr>
<tr><td>灌注
石膏靠模</td><td>

1—橡胶泥　2—石膏
3—型砂　4—母模</td></tr>
</table>

4. 环氧树脂压型

（1）环氧树脂浆料配制（见表 9-36）

表 9-36　环氧树脂浆料配制

<table>
<tr><th rowspan="3">序号</th><th colspan="5">配　　比</th><th>配制方法</th></tr>
<tr><th>基体材料</th><th>增塑剂</th><th colspan="2">固化剂</th><th>填充料</th><td rowspan="5">1）将环氧树脂置于钢制坩埚中，加热到 60～80℃后，缓慢加入铝粉，边加入边搅拌，直至混合均匀
2）将邻苯二甲酸二丁酯徐徐倒入混合均匀的环氧树脂混合料中，并搅拌均匀
3）将混合均匀的料冷至 30～50℃时，徐徐加入固化剂，并搅拌均匀，震动排气后，即可用于灌注
4）固化剂为乙二胺时，混合料温度不得超过 35℃，混合料应在 25min 内用完；固化剂为β羟乙基乙二胺时，混合料温度不得超过 45℃，混合料应在 30min 中内用完</td></tr>
<tr><th>环氧树脂</th><th>邻苯二甲酸二丁酯</th><th>乙二胺</th><th>β羟乙基乙二胺</th><th>铝粉或铁粉或硅石粉</th></tr>
<tr><td>1</td><td>100g</td><td>15～20mL</td><td>—</td><td>15～18mL</td><td rowspan="3">适量</td></tr>
<tr><td>2</td><td>100g</td><td>15～20mL</td><td>4mL</td><td>8～10mL</td></tr>
<tr><td>3</td><td>100g</td><td>15～20mL</td><td>6～8mL</td><td>—</td></tr>
</table>

（2）环氧树脂压型的制造

1）母模材料与制造要求：材料可用钢、铝、铜。母模尺寸精度为铸件精度的1/6。母模表面粗糙度 $Ra=0.8\mu m$。

2）造型方法与易熔合金模相同。

3）分型剂采用“煤油－硬脂酸液，或黄油”。

4）固化时间一般为12～24h。

5）制造流程：设计环氧树脂压型和母模→制造并检验母模→造型→涂分型剂→配制环氧树脂料浆、灌注环氧树脂料浆→固化→取模→修整→装配→验收、入模具库。

9.3 模料与制模工艺

易熔模（或蜡模）是熔模铸造生产中所采用的模样，这种模样在制壳工序完成后，可以将它熔失，就可以得到浇注金属液的铸型。制造蜡模的操作过程主要有配制模料、压制蜡模、组合模组等。

制备易熔模（或蜡模）的工艺流程如图9-4所示。

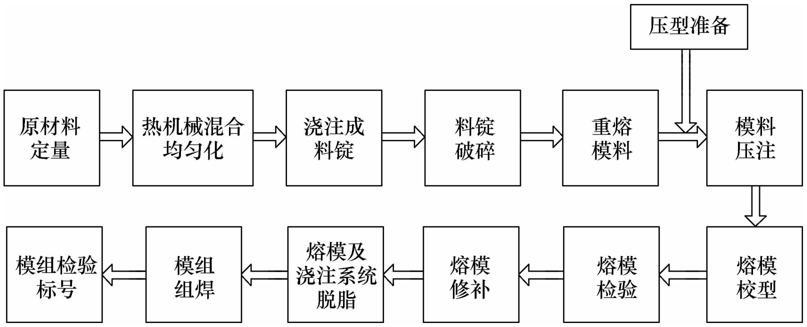


图9-4 易熔模的制备工艺流程

9.3.1 模料配制

1. 模料分类（见表9-37）

表9-37 模 料 分 类

序号	模料分类	基　　料	熔点/℃	特　　点	适用范围
1	低熔点模料	以石蜡-硬脂酸为主	<60	流动性好，制取方法简单，能多次反复使用，蜡模表面质量高，对硅酸乙酯和水玻璃粘结剂涂料的涂挂性好 但强度低，热稳定差，冷却时收缩大，蜡模在夏季易变形	适合制造小型件和尺寸精度及表面粗糙度要求不高的普通铸件

（续）

序号	模料分类	基　料	熔点/℃	特　点	适用范围
2	中熔点模料	以松香-蜡基为主	60 ~ 120	蜡模强度、热稳定性、涂挂性均优于低熔点模料	适用于制作要求较高的，特别是带陶瓷型芯的复杂中、小空心铸件
3	高熔点模料	塑料模料、尿素模料	>120	强度高，热稳定性好 但收缩率大、配制和制模工艺较复杂、脱模较困难	生产中应用较少，只在特殊要求时使用
4	激光快速成型用模料	工程塑料 + 助剂	—		用于铸造形状复杂或单件小批的铸件，其尺寸精度达到 CT7 ~ CT6，表面粗糙度达 Ra = 12.5 ~ 6.3μm

2. 易熔模原材料（见表 9-38）

表 9-38　易熔模原材料及技术参数

序号	名称	熔点/℃	软化点/℃	抗拉强度/MPa	自由收缩率(%)	密度/(g/cm³)	w（灰分）(%)	酸值
1	石蜡	52 ~ 70	>30	0.23 ~ 0.3	0.5 ~ 0.7	0.88 ~ 0.91	<0.11	—
2	硬脂酸	54	~35	0.18 ~ 0.2	0.6 ~ 0.69	0.69 ~ 0.86	<0.03	203 ~ 216
3	松香	89 ~ 93	74	5	0.07 ~ 0.09	0.9 ~ 1.1	<0.03	164
4	聚合松香	—	110 ~ 146	—	—	—	<0.03	120
5	川蜡	80 ~ 84	—	1.2 ~ 1.3	0.8 ~ 1.2	0.92 ~ 0.95	<0.06	1.3
6	蜂蜡	62 ~ 67	40	0.3	0.78 ~ 1.0	0.94 ~ 0.96	<0.03	4 ~ 9
7	提纯地蜡	滴点 80	—	1.5 ~ 2	0.60 ~ 1.1	0.85 ~ 0.95	<0.03	0.28
8	聚苯乙烯	160 ~ 170	70 ~ 80	30 ~ 50	0.65 ~ 0.75	1.05 ~ 1.07	<0.04	—
9	乙基纤维素	160 ~ 180	100 ~ 130	14 ~ 50	—	1.0 ~ 1.2	0.3 ~ 0.8	—
10	聚乙烯	104 ~ 115	80	8 ~ 10	2 ~ 2.5	0.92 ~ 0.93	0.06	—
11	褐煤蜡	82 ~ 85	48	4.5	1.63	0.88 ~ 0.93	0.18	31.2
12	改性松香 210#	—	135 ~ 150	—	—	—	—	20
13	改性松香 424#	—	≥120	—	—	—	—	16
14	EVA 树脂	62 ~ 75	—	3.0 ~ 6.0	—	0.94 ~ 0.95	—	—
15	尿素	130 ~ 134	—	1.7 ~ 1.8	0.1	1.335	0.3	—

3. 模料的配比、性能、配制工艺

（1）低温模料（是指石蜡-硬脂酸为基的模料）的配比、性能（见表 9-39、表 9-40）

表9-39　低温模料配比（质量分数）　　（%）

序号	石蜡	硬脂酸	松香	褐煤蜡	EVA	地蜡	低分子聚乙烯	乙基纤维素	聚乙烯	蜂蜡
1	50	50	—	—	—	—	—	—	—	—
2	50	50	—	—	—	—	—	—	1（外加）	
3	50	50	—	—	2~3（外加）	—	—	—		
4	50	45	—	—	—	—	—	5		
5	32	60	—	—	—	8	—	—		
6	50	20	—	30	—	—	—	—		
7	95	—	—	—	—	—	5	—		
8	80	—	—	15	—	—	5	—		
9	85	—	5	5	—	—	5	—		
10	49	48	—	—	—	—	—	—		3
11	90~94	—	2~5	1~2	1~2	—	—	—		

表9-40　低温模料的性能

序号	熔点/℃	热稳定性/℃	收缩率（%）	抗拉强度/MPa	流动性/mm	锥入度/mm	焊接强度/MPa	灰分（质量分数,%）	涂挂性①/mm
1	50~51	31	2.05	1.25	110.2	2.2	0.67	0.09	0.59
6	—	≥40	1.06	4.66	—	2.2	0.64	—	0.59
7	65.5~66.5	34	1.04	2.21	90	1.8	1.22	0.045	—
8	—	≥40	≤1.2	≥4.41	—	1.8	1.21	—	—
9	58	34	0.8	—	—	—	—	—	—
10	—	≥37	0.7~0.9	≈1.57	—	—	—	0.04	—

①　涂挂性表示熔模表面附着涂料的厚度。

（2）石蜡-硬脂酸模料加热熔化装置　采用蒸汽加热熔化装置（见图9-5）和电加热熔化装置（见图9-6）。

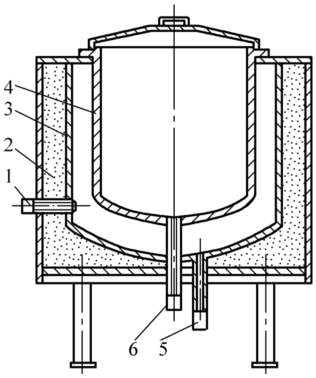


图9-5　蒸汽加热熔化装置

1—蒸汽进口　2—保温层　3—蒸汽加热套　4—蜡料桶　5—冷水出口　6—污物出口

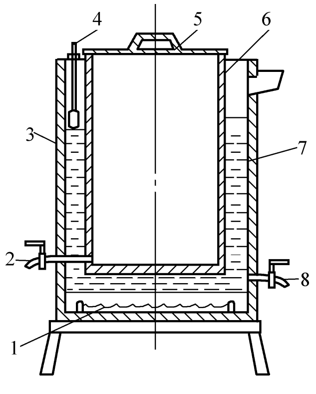


图9-6　电加热熔化装置

1—电热丝　2—放蜡料阀　3—外壳　4—水位浮标　5—桶盖　6—蜡料桶　7—水套　8—排水阀

（3）低温模料配制操作方法（熔化—过滤—搅拌）

1）按比例称取石蜡和硬脂酸。

2）将石蜡和硬脂酸放入碎蜡机内破碎成小块。

3）石蜡和硬脂酸放入干净电热水浴式不锈钢坩埚内通电熔化，熔化温度不超过90℃（80～85℃）。

4）模料全部熔化后，搅拌均匀。

5）用270号筛过滤（或3～5层砂布、绸布，或尼龙丝布过滤），除去模料中的杂质。

6）将过滤的模料加入固体模料片或碎末，倒入搅蜡机的搅拌桶内，搅拌成均匀糊状。

7）再倒入保温桶内（温度保持在42～48℃，一般为45℃左右）备用。

模料从熔融状态冷却至糊状过程中的强力搅拌，能使蜡模轮廓清晰、表面光滑。

4. 中温模料（是指以松香-蜡基为主的模料）**的配比、性能、配制工艺**

（1）松香-蜡基模料的配比、性能参数（见表9-41、表9-42）

表9-41 常用松香-蜡基模料的配比（质量分数） （%）

序号	松香	聚合松香	改性松香	石蜡	地蜡	蜂蜡	褐煤蜡	EVA	聚乙烯	川蜡
1	20	—	37	30	10	—	—	3	—	—
2	—	50	—	30	10	8	—	2	—	—
3	60	—	—	—	5	—	—	—	5	30
4	75	—	—	—	5	—	—	—	5	15
5	30	—	27	—	5	—	—	—	5	35
6	—	17	40	30	—	—	10	3	—	—
7	22	—	—	54	—	—	24	—	—	—

表9-42 常用松香-蜡基模料的性能参数

序号	熔点/℃	热稳定性/℃	收缩率（%）	抗拉强度/MPa	流动性/mm	锥入度/mm	灰分（质量分数,%）
1	滴点77	—	0.98	4.2	42.2	12.2	≤0.05
2	滴点73	—	—	4.0	55.5	11.8	≤0.05
3	90	>40	0.88	5.8	—	—	≤0.05
4	94	>40	0.95	9.8	—	—	≤0.05
5	—	>40	0.78	5.9	—	—	—
6	74～78	>40	—	5.3	—	—	—
7	≈75	≈40	0.98	5.8	—	—	—

（2）充填模料的配比（见表9-43）

表9-43 充填模料的配比（质量分数） （%）

序号	石蜡	地蜡	尿干粉	改性松香	改性尿素粉	硬脂酸	聚氯乙烯
1	80	20	—	—	—	—	10（外加）
2	—	3（外加）	—	35	35	30	—
3	—	8	35	35	—	22	—

注：1. 改性尿素粉是将尿素和二缩尿在170℃加热生成三聚异氰酸和三聚氰酸，经破碎，成为不溶于水的粉料。

2. 充填料-尿干粉的配制工艺：①把尿素块放在清洁干净的容器内粉碎，并用24号筛过筛；②将过筛的尿素在120℃烘烤5h以上，去除水分；③用40/50号筛过筛后，放入干净的容器内备用。

（3）中温松香-石蜡基模料的配制工艺

1）按比例称取松香、改性松香、石蜡、地蜡和EVA树脂。

2）将石蜡、EVA树脂放入清洁干净的不锈钢坩埚内通电熔化，温度不超过120℃。

3）待石蜡、EVA树脂化清后，加入改性松香，并不断搅拌，化清后加入地蜡，搅拌混合均匀；最好熔化温度不超过180℃。

4）将化好的模料，用270号筛或离心分离器过滤或分离，去除杂质。

5）冷却至70～80℃保温待用，或浇成锭块，或制成碎片和颗粒备用。

（4）充填模料的制备工艺

1）按比例称取尿干粉、失水苹果酸树脂、硬脂酸和地蜡。

2）先将硬脂酸和地蜡放入干净的不锈钢坩埚内，通电熔化，然后，加入失水苹果酸树脂，待其全部熔化后升温至200℃，用270号筛过滤，去除杂质。

3）将过滤的混合物冷却至120～135℃时，在不断搅拌的情况下，徐徐加入尿干粉，继续搅拌20～30min，直至模料混合均匀，无气泡为止（模料温度保持在80～90℃）。

5. 高温模料（是指塑料模料和尿素模料）**的配比**（见表9-44）

表9-44 高温模料的配比（质量分数） （%）

类别		聚苯乙烯	泡沫聚苯乙烯	尿素	硼酸	硝酸钾	硫酸铵	白糖
塑料模料	1	100	—	—	—	—	—	—
	2	—	100	—	—	—	—	—
尿素模料	1	—	—	97～98	2～3	—	—	—
	2	—	—	80	—	20	—	—
	3	—	—	97	2（外加）	—	—	3
	4	—	—	90～95	—	—	5～10	—

6. 激光快速成型用模料的组成（见表9-45）

表9-45　激光快速成型用模料的组成

组成	使用特性	
	软化点/℃	特　性
多元PA： 聚酰胺+添加剂	70	200℃具有较好的流动性，350℃剧烈分解，470℃以后残留物的质量分数为5%，650℃以后残留物的质量分数为2%
多元PS： 聚苯乙烯+助剂	100	250℃具有较好的流动性，>300℃开始剧烈分解，500℃完全分解，残留物的质量分数<1%；脱蜡采用在流动点温度保温1h，可流出80%的模料，剩下的在高温下分解脱蜡

注：多元聚酰胺PA类和多元聚苯乙烯PS类，同属于工程塑料类。这两类工程塑料均不能直接使用，需要添加助剂，并粉碎成粒度<0.1mm的粉体使用。

7. 商品化模料的牌号及性能（见表9-46）

表9-46　商品化模料的牌号及性能

类型	序号	牌号	颜色	软化点/℃	锥入度（25℃）/×10^{-1}mm	灰分（质量分数,%）	应　用
型蜡	1	KC2656L	蓝	80.5	5.8	≤0.005	通用精铸型蜡，适合中小件
	2	KC2699G	绿	81	5.2	≤0.005	
	3	KC401	石墨蓝	68	—	≤0.010	优质航空零件和涡轮叶片专用模料
	4	B545	绿	72	3.0	≤0.030	适合中小航空优质铸件模料
	5	B478	绿	70	4.0	≤0.030	适合中小铸件模料
	6	B405	红	67	5.0	≤0.030	型蜡和浇道理想用模料，可用于手工制模
	7	WM36-1	黄	95	—	<0.05	航空叶片和其他小的熔模
	8	WM36-4	橘黄	70~80	—	<0.05	制作钛和其他任何合金的精铸熔模
水溶性蜡	1	KC1665	白	—	1.6	—	液态压注温度63℃ 膏状压注温度50℃
	2	Soluble CP2	绿	79	2~4	≤0.025	凝固快，不易裂，模样强度高，表面粗糙度值低
	3	WM36-10	草绿	135		<0.05	水溶性型芯模料
粘结蜡	1	MASTER公司	黄	72	9.6	≤0.005	粘结模组
	2	CASTYLENE公司	淡黄	67	16~22	≤0.025	粘结强度高，用于组合模组
	3	WM36-8	黄	55~65		<0.05	粘结模组
修补蜡	1	CASTYL公司	红	—	30~35	≤0.030	手的热量足以软化而容易嵌入蜡模的缺陷之中
	2	WM36-7	深红	45~60	—	<0.05	修补用模料

注：WM系列模料的软化点实为其熔点。KC系列为MASTER公司的模料，B系列和Soluble CP2为CASTYLENE公司的的模料。WM系列为国产模料，根据铸件结构和质量要求可选购。

8. 模料制备主要装置（见表 9-47）

表 9-47　模料制备主要装置

序号	装置名称	结构组成	主要技术规格
1	工频感应化蜡炉	炉体、搅拌器、恒温前炉、通风装置、控制箱	1）炉体为 ϕ500～ϕ1200mm 圆柱体，蜡容量 180kg 左右，功率 30～35kW 2）恒温前炉：蜡容量 180kg 左右，可自动调节 3）搅拌器：转速 9r/min，功率 1.5kW
2	模料熔化保温炉	蜡容量 30kg，熔化一桶约 1h	适用于蜡基模料熔化。熔化温度可控制小于 100℃，能控制模料在 42～48℃恒温
3	机械搅蜡机	电动机、变速器、螺旋体等	适用于制备石蜡-硬脂酸型低温糊状模料。螺旋转速可调，要求进入的模料块度 < 30mm
4	削蜡片机	电动机、刀盘座、刀片等	主轴转速 950r/h，生产率 250～300kg/h 蜡片，蜡片 < 10mm

9.3.2　压制蜡模

1. 制模设备（见表 9-48）

表 9-48　常见制模设备

序号	名　　称	特　　点	应　　用
1	气动压蜡机	该设备有 4 个压蜡头，设有自动调节水套温度的装置，工作压力为 0.2～0.3MPa	适于各种模料
2	侧柱液压半自动压蜡机	通过压力油令液压缸中的活塞动作，将模料从射蜡嘴挤出。压射压力大，设备体积小，结构紧凑	最适于压注树脂基模料
3	电动压蜡机	该压蜡机的压蜡缸容量为 9kg，压蜡缸内温度为 43～47℃，压型有效高度为 250mm，最大生产量为 180 件/h，压注压力为 0.58MPa	手工操作电动压蜡机，压注小型蜡模

2. 分型剂（见表 9-49）

表 9-49　用压型分型剂

序号	分型剂成分（质量分数,%）	适用范围	使用效果
1	变压器油 100	糊状模料	良
2	蓖麻油 50，酒精 50	蜡基糊状模料	一般
3	甲基-硅油 98，助溶剂 2	中温液态压制的模料	优
4	羊毛脂 90，助溶剂 10	所有模料	良
5	松节油 100	糊状模料	良

3. 制模工艺参数

（1）熔模铸造制模工艺参数　见表9-50。

（2）模料压注状态和压型、蜡模表面粗糙度的关系　见表9-51。

表9-50　熔模铸造制模工艺参数

模料类型	制模室温度/℃	压注温度/℃	压型温度/℃	压注压力/MPa	保压时间/min	熔模冷却水温度/℃
蜡基糊状模料	15～25	40～50	20～25	0.1～1.4	0.5～3.0	18～26
松香基糊状模料	18～30	50～60	20～25	0.3～1.5	0.5～3.0	18～26
松香基液态模料	18～30	70～80	20～30	0.3～1.6	1.0～3.0	18～26
尿素干粉充填模料	18～30	85～90	20～30	0.2～1.25	≈1.0	—

表9-51　模料压注状态和压型、蜡膜表面粗糙度的关系

模料	压注状态	压型表面粗糙度 Ra/μm	蜡模表面粗糙度 Ra/μm
石蜡-硬脂酸	糊状	0.8	1.6～3.2
	糊状	0.008	1.6
	液态	0.008	0.008
松香基模料	液态	0.2	0.2
	液态	0.025	0.05
	液态	0.012	0.025
	液态	0.008	0.008

注：液态压注指模料温度高于熔点。糊状压注指模料温度为0.8$T_{熔}$左右。

4. 压制蜡模的操作通则

生产中广泛采用压注法制造蜡模。压蜡设备虽较多，但基本步骤相似。压制蜡模的操作通则如下：

（1）调控温度　将制模室温度调节在15～25℃，蜡枪和压蜡缸等预热到略高于糊状蜡料温度，压型温度为15～30℃，蜡模冷却水温度控制在15～26℃。

（2）涂刷分型剂　石蜡基蜡模广泛使用纯变压器油（或松节油）作分型剂，松香基蜡模主要使用篦麻油和酒精各占一半的分型剂。

涂刷分型剂的方法：有手工涂刷和喷涂两种。手工涂刷是在压型装配前（或装配过程中）用软笔涂刷一层分型剂；喷涂法是在压型装配好后，用喷枪从压蜡口点射加有压力的分型剂，分型剂喷出时呈雾状，雾状分型剂自然附着于型腔内壁。

不论用哪种方法涂刷分型剂，都不能出现未涂到（或型壁挂液珠）现象。

（3）压蜡操作

1）采用手工操作电动压蜡机，如图9-7所示。

2）压注小型蜡模的操作方法

①压蜡。打开压蜡缸加热电阻丝电源开关，预热压蜡缸到 50℃左右，提起冲头 12，加入 43 ~ 47℃的糊状模料，盖好压头。

将涂好分型剂的装配好的压型 15 放于压蜡嘴下，踩动压注踏脚板 18，压蜡缸 13 向压型进行压注，待弹簧顶杆顶开常闭行程开关 11 后，压蜡完毕。

再踩动回程脚踏板 17，冲头和压蜡缸上行复位，由此完成一个压注过程，拿开压型。

②取模。根据蜡模厚度和凝固实际情况确定开模时间，开模取出蜡模后，将起出的蜡模放在 15 ~ 26℃的水槽中进一步冷却。

在整个制模过程中，一般都是几个人联合操作。

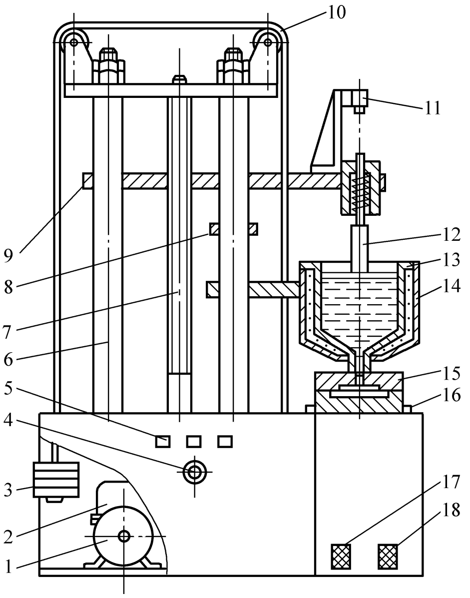


图 9-7　电动压蜡机

1—电动机　2—减速器　3—平衡锤　4—开关　5—指示灯　6—导柱　7—丝杠　8—限位开关　9—蝶母板　10—滑板　11—行程开关　12—冲头　13—压蜡缸　14—电炉　15—压型　16—定位块　17—回程脚踏板　18—压注脚踏板

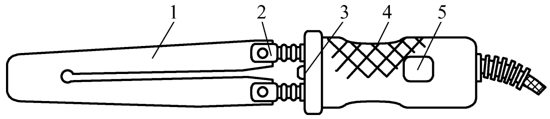
9.3.3　焊接模组

1. 电热焊接刀

熔模组装用的工具是低压电热焊接刀（又称低压电热刀）。与 220V 电烙铁相比，电热焊接刀具有重量轻、升温快、使用方便、安全可靠、制造简便等特点。为适应中温和低温蜡料的焊接需要，可调节二次侧电压，以调节电热刀温度。电热刀的结构及电器参数见表 9-52。

表 9-52　电热焊接刀的结构及电器参数

电热焊接刀简图



1—刀片　2—支柱　3—指示灯　4—手柄　5—开关

序号	结构				电器参数					
	刀片材料	发热刀截面（长×宽）/mm	手柄材料	刀片与手柄固定方式	输入电压/V	输出电压/V	频率/Hz	输出电流/A	电热刀功率/W	变压器容量/V·A
1	镍铬电炉带	5×1	布纹胶木板	销钉固定、螺钉连接	220/380	3 ~ 6	50	—	100 ~ 150	—
2	耐热钢	3×3			220	10	60	—	—	—
3	12Cr18Ni9Ti 不锈钢	5×0.6			220/380	1.2 ~ 1.5	50	40（满载）	—	50

2. 浇口棒（见表 9-53）

表 9-53　浇　口　棒

序号	制造方法	操作要点	特　　点
1	自由浇注法	将 70℃模料浇入浇口棒模中，当蜡液快凝固时插入芯棒，可用水冷却，以提高效率	浇口杯强度高。但表面不规则，脱蜡时膨胀较大，浇口杯表面易产生缩陷
2	蘸蜡法	将冷芯棒（常用铝棒）插入高于模料熔点 5℃左右的蜡液中停留 1 ~ 2s，蘸多次后，蜡层厚度达 3 ~ 5mm，也可在蜡液中停留时间长些，一次蘸成	强度较高，操作简便，不需要浇口棒模具。但环境温度低时，蜡层易开裂、分层、剥落
3	压注法	同制造易熔模一样，将模料压入专用压型	生产效率高，表面光洁，可制造形状较复杂的浇注系统。但装备较复杂

3. 熔模清洗

熔模在组合和涂料前必须进行清洗。常用的脱脂液和清洗方法见表 9-54。

表 9-54　脱脂液和清洗方法

序号	脱脂液组成（质量分数,%）	脱脂液温度/℃	清洗方法
1	50% 肥皂水	22 ~ 25	在脱脂液中擦洗后，在温度为 22 ~ 25℃ 的清水中擦洗数遍后，擦干
2	三氯乙烷 70，工业乙醇（或纯丁酮）30	22 ~ 25	
3	（体积分数,%）：工业乙醇 50，水 50	22 ~ 25	

4. 焊接模组

（1）方法　将浇口棒上蘸 6 ~ 7 层蜡，蜡层厚度达到 2mm 左右。把蘸好蜡的浇口棒固定在可转动夹具上，将蜡模用电热刀焊接在浇口棒上。

（2）蜡模的焊接形式（见图 9-8）

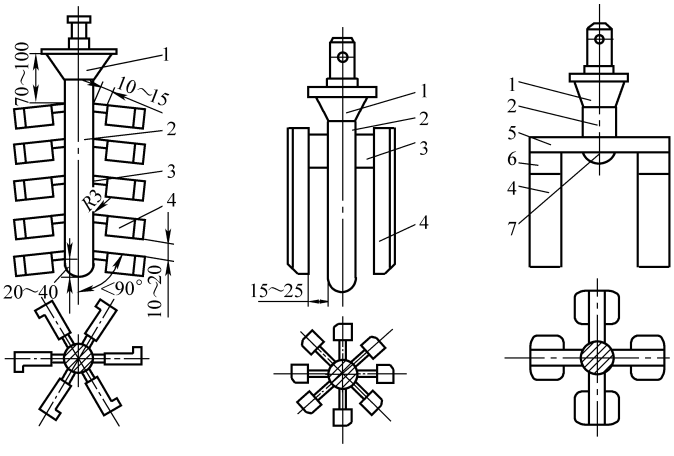


图 9-8　焊接模组形式

1—浇口杯　2—直浇道　3—内浇道　4—铸件

5—横浇道　6—冒口　7—缓冲器（直浇道窝）

（3）组模原则

1）焊接模组时，要考虑浇冒口系统的设计原则。

2）要注意蜡模之间间隔不小于6mm。

3）蜡模与直浇道轴线倾角应保持60°~80°，以便熔失蜡料顺利从型壳中流出。

4）焊接好的模组，应采用挂架存放（或货架摆放），以免引起模组变形。

9.3.4 熔模缺陷、原因分析及解决方案

易熔模常见缺陷、原因分析及解决方案见表9-55。

表9-55 易熔模常见缺陷、原因分析及解决方案

序号	缺陷类型	原因分析	解决方案
1	缺肉	1）模料流动性差 2）模料压注温度或压型温度低 3）压注压力小或压注速度太慢 4）压注射口太小或位置不当 5）压型型腔排气不良 6）模料注入量不足	1）改进模料，提高模料流动性 2）提高模料压注温度和压型温度 3）增加压注压力或增加压注速度 4）扩大注射口或调整注射口位置 5）改善排气条件 6）增加模料注入量
2	易熔模尺寸超差（过大或过小）	1）压型设计不合理，制造精度低 2）压型磨损未修正 3）模料线收缩率不符合要求 4）模料温度过高或过低 5）保压时间过长或过短 6）制模室室温不符合要求	1）改进设计，返修压型 2）检验压型尺寸，并进行修正 3）更换模料或返修压型 4）控制模料温度 5）控制保压时间 6）控制制模室室温
3	夹杂	1）模料及原材料中混有杂质，配制时未过滤干净 2）压型不清洁 3）制模工作室不清洁 4）熔化模料用坩埚及工具不干净	1）模料配制时过滤干净 2）压型清理干净 3）保持制模室、模料制备室整洁干净 4）保持坩埚、工具干净清洁
4	飞翅	1）模料压注温度过高，压注压力过大 2）分型面平直度公差大，表面粗糙度值大 3）压型锁紧力不够 4）分型面上有脏物	1）控制模料压注温度和压注压力 2）保证分型面加工精度和表面粗糙度要求 3）压型锁紧充分 4）清洁分型面
5	陶瓷型芯损坏	1）型芯在压型中配合不适当 2）模料充填速度过大 3）进料粘度太大 4）压注压力太大 5）压注压力波动	1）压蜡模前将型芯放置在压型中试模。检查型芯是否破裂 2）调整模料压注注速 3）提高模料压注温度 4）适当减小压注压力 5）压注压力尽量保持稳定

（续）

序号	缺陷类型	原因分析	解决方案
6	裂纹	1）模料线收缩率大，塑性差 2）压型设计不正确或零件结构不合理 3）压型内腔粗糙，有毛刺，或压型取模斜度太小，甚至有反斜度 4）压型温度过低 5）易熔模冷却水温度太低 6）制模环境温度太低 7）保压时间太长，抽芯取模太迟 8）取模方法不合理	1）改进模料 2）改进设计，或改进零件结构 3）检查并修整压型 4）适当提高压型温度 5）适当提高冷却水温度 6）提高室温 7）缩短保压时间，提早抽芯、取模 8）改进取模方法，增加引导装置
7	表面缩陷	1）模料体收缩率过大 2）模料压注温度或压型温度过高 3）石蜡-硬脂酸模料的比例失调，石蜡过多 4）压注压力低，保压时间短 5）注射口设计不当 6）易熔模壁厚差过大 7）压注时模料注入量不足	1）改进模料 2）降低模料压注温度或压型工作温度 3）补加适量硬脂酸 4）提高压注压力，延长保压时间 5）调整注射口大小和位置 6）采用冷蜡块或制成空心易熔模 7）增加模料注入量
8	表面流线花纹	1）压型温度低 2）模料压注温度低 3）压注速度太慢或压注断续 4）分型剂未刷均匀，或过多	1）适当提高压型温度 2）适当提高模料压注温度 3）增大压注速度，保证压注不断续 4）涂刷均匀，稀薄
9	表面粗糙有麻坑	1）糊状模料不均匀，固体模料碎块过大，未充分搅熔 2）模料回收处理时过滤不净，皂化处理不良 3）压型型腔表面粗糙 4）型腔未清理干净，冷却水未擦净 5）分型剂未刷均匀或涂刷过多 6）模料压注温度低，压注压力不足或断续	1）避免采用过大固体模料碎块，保证充分搅熔 2）严格按要求对模料进行回收处理 3）降低型腔表面粗糙度值 4）清理干净型腔，擦干型腔内冷却水 5）涂刷分型剂应均匀，稀薄 6）提高压注温度和压力，保证连续压注
10	变形	1）模料软化点低，环境温度高 2）压型设计不正确，装配时活动部分未固紧 3）取模过早 4）易熔模存放不当，存放时间过长 5）起模方式不当，起模时用力不当	1）改进模料或降低工作室温度 2）改进设计，装配时活动部分应固紧 3）延迟取模 4）易熔模放置在存放架或存放盘内，避免存放时间过长 5）改正取模方式

（续）

序号	缺陷类型	原因分析	解决方案
11	气泡外漏、气泡鼓胀	1）模料熔化温度太高，吸收了大量气体 2）糊状模料配制时搅拌时间过长，搅拌速度太快，卷入过多气体 3）压注压力过高，易熔模在压型内冷却时间过短或室温过高 4）注射口位置不当 5）压注速度过快，型腔气体来不及排出	1）控制熔化温度 2）适当降低搅拌转速，控制搅拌时间 3）适当降低压注压力，延长型内冷却时间，取模后用冷却介质加快冷却 4）改变注射口位置 5）调整压注速度，改善压型排气状态

9.3.5 石蜡-硬脂酸模料回收处理

1. 酸处理法（见表9-56）

表9-56 盐酸法和硫酸法的处理工艺

盐酸法	配比	旧模料100kg、水35～38kg、盐酸4～5kg、水玻璃2～3kg（搅拌10min，在70～80℃保温）、处理温度80～90℃、处理时间≥60min
	操作要点	1）盐酸+热水，搅拌均匀→加旧模料，搅拌（温度保持在80～88℃），直至模料白点消失 2）在70～80℃保温、静置、过滤，再将蜡液倒入75～80℃热水中，搅拌，以去除残酸 3）操作调整以水不黄、蜡液清澈为准。水黄应多加水，蜡液浑浊不清，应多加盐酸
硫酸法	配比	旧模料100kg、水35～38kg、硫酸2～4kg、水玻璃2～3kg（搅拌10min，在70～80℃保温）、处理温度80～90℃、处理时间≥9min
	操作要点	1）硫酸+热水，搅拌均匀→加旧模料（温度保持在80～88℃）搅拌，直至模料白点消失 2）在70～80℃保温1h，使黑色赃物沉淀过滤 3）在洁净蜡液中加水玻璃，搅拌均匀，保温静置 4）用指示剂（甲基橙和酚酞）分别检验酸碱度，用少量水玻璃或硫酸调整至模料呈中性，并过滤

2. 电解处理法

（1）电解回收蜡装置原理（见图9-9）

（2）电解工艺参数（见表9-57）

（3）电解操作要点及安全保护

1）将电解液及经酸处理的蜡料加热至80～85℃，开始通电电解。电解液温度要严格控制在90℃以下。当电解后期电解液温度较高时，可将电流、电压调至下限。

2）当蜡液由棕色变为白色或浅黄色时，中断电流，静止20～30min后，取出

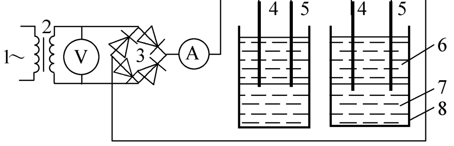


图9-9 电解回收蜡装置原理图

1—电源 2—变压器 3—硒整流器 4—阳极 5—阴极 6—蜡液 7—电解液 8—耐酸槽

蜡液，倒入 75～85℃的热水中强烈搅拌，以去除残酸和杂质。

3）电极表面扩大、盐酸浓度增加、电极距离缩短，均会使电流增大，应严格控制。

4）安全保护。电解时，产生大量有毒气体（氯气），应设抽风设备。

表 9-57　电解工艺参数

旧蜡处理/kg	电解液		电解温度/℃	电气参数		电解时间/h
	水/kg	盐酸浓度（质量分数,%）		电压/V	电流/A	
≈80	110	2.8～3.5	80～90	15～20	150～200	1.5
≈250	110～140	3～4	80～96	30	30～35	4～6

3. 中温模料的回收处理（见图 9-10）

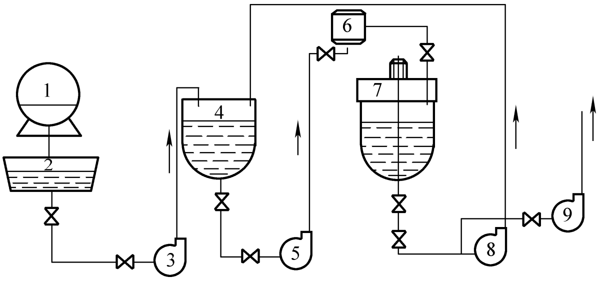


图 9-10　中温模料的回收处理工艺

1—脱蜡槽　2—蓄蜡槽　3、5、8、9—泵　4—水分蒸发槽　6—离心式分离器　7—保温槽

注：通过泵 3，将蓄蜡槽 2 中的回收模料打入水分蒸发槽 4 中，在 120℃下使模料中的水分蒸发干净。取样检查合格后，通过泵 5 将蜡液打入离心式分离器 6 中进行离心分离处理排除杂质。然后进入保温槽 7 中保温（≤80℃），并按新蜡料要求进行检验（灰分、锥入度、强度、熔点或滴点）。符合要求时，过泵 9 输送到制蜡间使用（或制成锭、粒、或蜡片）。使用时，加入质量分数为 20%～30% 的新蜡混合均匀后使用。若不合要求，通过泵 8 将蜡液送回蓄蜡槽重新处理。

4. 冷蜡块、型芯撑、校正模的应用（见表 9-58）

表 9-58　冷蜡块、型芯撑、校正模的应用

序号	工艺名称	概　　念	作　　用
1	冷蜡块	将预制冷蜡块放入压型中作为假芯，用锥形凸台（高度 2～3mm）定位，再注入模料形成易熔模	采用冷蜡块防止厚大的易熔模缩陷和变形

（续）

序号	工艺名称	概　　念	作　　用
2	型芯撑	芯撑材料有三种：蜡料、塑料、金属丝。芯撑锥形，锥底直径为 $\phi3$ ~ $\phi4$mm。塑料芯撑用灰分不大于 0.25% 的聚苯乙烯制成。蜡料芯撑用蜂蜡制成。金属芯撑用直径为 $\phi0.3$ ~ $\phi1.0$mm 金属丝	用于陶瓷型芯在压型中定位。防止陶瓷型芯蜡模断裂、变形和错位
3	校正模	校正模材料为石膏、环氧树脂和金属材料 把从压型中取出的熔模放入工作面与压型分型面一致的校正模中，冷却 20 ~ 40min 后取出	避免熔模变形

9.4　型壳制造工艺

将涂料涂于模组表面，撒上耐火砂粒，反复几次涂挂涂料与撒砂，即形成型壳。将型壳内的蜡模熔失后，焙烧、干透型壳，即可浇注。熔模型壳（铸型）按粘结剂不同可分为四类，见表 9-59。

表 9-59　熔模型壳的种类及应用范围

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2">型壳分类</th><th rowspan="2">使用粘结剂</th><th colspan="4">铸件特点</th><th colspan="2">型壳特点</th><th rowspan="2">应　　用</th></tr>
<tr><th>铸件表面粗糙度值</th><th>尺寸精度</th><th>铸件成本</th><th>价格</th><th>型壳内表面质量</th><th>制壳周期</th></tr>
<tr><td>1</td><td>水玻璃型壳</td><td>水玻璃</td><td>大</td><td>低</td><td>低</td><td>低</td><td>—</td><td>短</td><td>广泛用于铸造碳钢、低合金钢、铝合金和铜合金</td></tr>
<tr><td>2</td><td>硅酸乙酯型壳</td><td>硅酸乙酯</td><td>小</td><td>高</td><td>高</td><td>较贵</td><td>易产生白霜</td><td>长</td><td rowspan="3">广泛用于铸造高温耐热合金、耐热钢、不锈钢；碳钢、低合金钢、铝合金、铜合金</td></tr>
<tr><td>3</td><td>硅溶胶型壳</td><td>硅溶胶</td><td>小</td><td>高</td><td>高</td><td>较贵</td><td>无白霜</td><td>长</td></tr>
<tr><td>4</td><td>硅酸乙酯-硅溶胶复合型壳</td><td>硅酸乙酯-硅溶胶</td><td>小</td><td>高</td><td>高</td><td>较贵</td><td>—</td><td>较长（不需氨气干燥）</td></tr>
</table>

熔模铸型按造型方法不同分为三类：湿法造型、干法造型、单壳铸型。其中，湿法造型很少应用；干法造型用于薄壁铸件，或高温合金铸件；单壳铸型因其成本低、节约能源、生产周期短、劳动强度低，最为常用。

9.4.1　制壳用材料

熔模铸造的型壳，是由耐火材料和粘结剂组成的。涂料是粘结耐火砂粒的粘结剂。耐火材料的物理化学性能直接影响铸件的表面质量和尺寸精度。

1. 制壳用耐火材料（见表 9-60）

表 9-60 熔模铸造制壳用耐火材料的物理、化学性能

耐火材料	分子式	化学性质	熔化温度/℃	耐火度/℃	密度/(g/cm³)	线胀系数 α_l /×$10^{-6}K^{-1}$ 20～1000℃	热导率/[W/(m·K)] 400℃	热导率/[W/(m·K)] 1200℃
硅砂	SiO_2	酸性	1713	1680	2.7	—	—	—
石英玻璃	SiO_2	酸性	1713	—	2.2	0.51～0.63	1.59	—
电容刚玉	Al_2O_3	两性	2050	2000	4.0	8.61	12.56	5.27
耐火粘土	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	酸性	—	1670～1710	—	—	—	—
莫来石	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	两性	1810	—	3.16	4.5	1.21	1.55
硅线石	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	弱酸性	1545	—	3.25	3.2～6	—	—
高岭石熟料	—	—	—	1700～1790	2.62～2.65	5	—	—
尖晶石	$MgAl_2O_4$	—	2135	—	3.6	7.6	—	—
铝酸钴	$CoAl_2O_4$	—	—	—	4.3	9.2	—	—
锆砂	$ZrO \cdot SiO_2$	弱酸性	1775	—	4.5	5.1	—	2.09
氧化镁	MgO	碱性	2800	—	3.57	13	5.44	2.93
氧化钙（烧结）	CaO	碱性	2600	—	3.32	13	—	7.12

熔模铸造制壳用耐火材料的线胀率，由大到小依次为：①硅砂（SiO_2）；②烧结氧化镁（MgO）；③电熔刚玉（Al_2O_3）；④硅线石（$Al_2O_3 \cdot SiO_2$）；⑤耐火熟料（$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$）；⑥锆砂（$ZrO_2 \cdot SiO_2$）；⑦石英玻璃（SiO_2）。

（1）硅砂（硅石粉） 铸造上用的硅砂有天然和人造两种。用于熔模铸造的耐火材料多是人造硅砂。

熔模铸造用硅砂一般用于浇注碳钢、低合金钢、铜合金和铝合金。若用于浇注含镍铬较高和含有铝钛等活泼元素的合金时，铸件表面容易产生粘砂、麻点、氧化夹杂等缺陷。石英玻璃仅用于制作预成型陶瓷型芯。

1）熔模铸造用硅砂的化学成分与耐火度见表 9-61。

表 9-61 熔模铸造用硅砂（粉）的化学成分与耐火度（GB/T 12214—1990）

分级代号	SiO_2（质量分数,%）≥	有害杂质含量（质量分数,%）≤ K_2O+NaO	有害杂质含量（质量分数,%）≤ $CaO+MgO$	有害杂质含量（质量分数,%）≤ Fe_2O_3	熔化温度/℃	外观
98	98	1.0		0.1	≥1700	洁白
97	97	1.5		0.2	≥1650	个别砂粒有锈斑
96	96	5.0		0.3	≥1650	个别砂粒有锈斑

2）熔模铸造用硅砂的粒度见表9-62。

表9-62 熔模铸造用硅砂的粒度（GB/T 12214—1990）

筛号	主要粒度组成部分/mm		
	前筛	主筛	后筛
12/30	1.700	0.850	0.600
20/40	0.850	0.600	0.425
40/70	0.425	0.300	0.212
70/140	0.300	0.21	0.150

注：筛号相当于旧标准的目。后同。

3）熔模铸造用硅石粉的粒度见表9-63。

表9-63 熔模铸造用硅石粉粒度（GB/T 12214—1990）

筛号	特性参数		
	重量平均粒度/μm	100g粉总面积/m^2	重量平均粒度/μm
50/100	25～30	15～25	>17
40/70	30～50	15～25	>17

（2）电熔刚玉 电熔刚玉有白色和棕色两种，属两性氧化物，在高温下常呈弱酸性或中性，抗酸碱性强，高温热稳定性好。铸件表面粗糙度值低，尺寸稳定，是熔模铸造良好的耐火材料。但来源短缺，价格较贵。电熔刚玉仅用于铸造耐热不锈钢、超级耐热高温合金和表面要求较高的各类铸件。

熔模铸造用刚玉的化学成分见表9-64。

表9-64 熔模铸造用刚玉化学成分（质量分数） （%）

种类	Al_2O_3	Na_2O	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	灼减量（%）
白刚玉	≥98.5	≤0.6	≤0.1	≤0.2	—	≤0.3
棕刚玉	≥93	≤0.6	—	≤0.8	≥3.0	—

（3）铝矾土 铝矾土在自然界中是以含水氧化铝为主的矿物所组成，含Al_2O_3的质量分数为50%～85%，同时还含有高岭石和TiO_2、Fe_2O_3等杂质。熔模铸造用铝矾土有两种：一是天然铝钒土矿，经过1400℃煅烧，生成刚玉和莫来石质的熟料；二是将铝矾土、粘土按莫来石的成分配制，经1500℃煅烧成莫来石质熟料，又称铝钒土合成料。铝钒土是一种良好的加固材料，用作壳型可以单壳浇注，但铸后残留强度高，清砂较为困难。

1）熔模铸造用铝矾土砂的化学成分见表9-65。

表9-65 熔模铸造用铝矾土砂（粉）的化学成分、分级代号（GB/T 12215—1990）

种类	分级代号	化学成分（质量分数,%）						灼减量（%）
		Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO+MgO	K_2O+Na_2O	
铝矾土熟料	特级85	≥85	—	≤1.0	≤4	≤0.8	≤0.5	≤0.5
	一级80	≥80	—	≤1.5	≤5	≤0.8	≤0.7	≤0.5
	二级70	≥70	—	≤2.0	≤5	≤1.0	≤0.7	≤0.5
铝矾土合成料	—	66～70	24～28	≤1.5	≤4	≤0.5	≤0.5	≤0.5

2）铝矾土的主晶相、耐火度见表9-66。

表9-66　铝矾土料的主晶相及耐火度（GB/T 12215—1990）

种　　类	主晶相（质量分数,%）	耐火度/℃	密度/(g/cm^3)
铝矾土熟料	α-Al_2O_3 + 莫来石≥90	≥1770	3.06
铝矾土合成料	莫来石≥80	≥1790	1.8～2.2

3）铝矾土砂的含粉量和砂（粉）含水量见表9-67。

表9-67　铝矾土砂的含粉量和砂（粉）含水量（GB/T 12215—1990）

种　　类	砂中含粉量（质量分数,%）≤	（质量分数,%）≤
铝矾土熟料	0.3	0.3
铝矾土合成料	0.5	0.3

（4）高岭石熟料　高岭石的化学式为 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$。纯高岭土为白色，密度为2.6$g/cm^3$，熔融温度为1750～1787℃。经1300℃以上温度煅烧得到高岭石熟料，其相组成为莫来石、玻璃相，或方英石。高岭石熟料是国内外使用广泛的制壳背层材料。

1）熔模铸造用的五种高岭石熟料的化学成分见表9-68。

表9-68　熔模铸造用的五种高岭石熟料的化学成分

材　　料	Si_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2
南票煤矸石	≥49	42～46	≤1.3	≤0.8	≤0.8	≤0.6	≤0.6	≤1.0
陕西上店土			≤	≤0.7	≤0.7	≤0.3	≤0.3	≤1.5
四川峨眉土			≤	≤0.42	≤0.42	≤0.3	≤0.3	≤1.5
河北古冶矾土			≤	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤2.2
山东焦宝石	≈	≈	≈	≈0.6	≈0.16	—	—	—

注：高岭石熟料可作填料和粘结剂配制涂料制壳，可作水玻璃硅石粉涂料的添加剂使用。但杂质高，不宜作表面涂料使用。

2）五种高岭石熟料的主晶相及耐火度见表9-69。

表9-69　五种高岭石熟料的主晶相及耐火度

材　　料	主晶相（质量分数,%）		耐火度/℃	密度/(g/cm^3)
	莫来石	方石英		
南票煤矸石	≥60	≤17	≥1770	≥2.5
陕西上店土①	≥45	≤15～20	≥1750	≥2.4
四川峨眉土	51	4	—	—
河北古冶矾土②	54～58	15～18	≥1750	≥2.4
山东焦宝石	—	—	≥1710	—

① 数据来源：HB5348—1986。

② 数据来源：DB/1300200—1988。

（5）锆砂 锆砂又称硅酸锆（$ZrSiO_4$）。锆砂的传热系数大，热膨胀系数小而均匀，热化学稳定性好，耐火度高，是一种性能优良的耐火材料。纯锆砂在1775℃分解出SiO_2，当有杂质存在或真空下，分解温度下降到1540℃，分解出的SiO_2有较大活性，会恶化铸件表面质量。

熔模铸造用的锆砂为天然锆砂。一般选用一级320号锆砂粉配制面层涂料，选用80～120号锆砂作为撒砂料，制备壳型的表面层。锆砂的密度大，易沉淀，因此，有时需加入适量的优质粘土（或其他悬浮剂），以改善其悬浮性。

1）熔模铸造用锆砂粉的化学成分见表9-70。

表9-70 熔模铸造用锆砂粉的化学成分（JB/T 9223—1999）

分类等级	(Zr·Hf) O_2 含量（质量分数,%）	其他组成成分（质量分数,%）				
		TiO_2	Fe_2O_3	P_2O_5	SiO_2	Al_2O_3
一级	66.00	0.30	0.15	0.20	33.0	0.30
二级	65.00	1.00	0.25	0.20	33.0	0.80
三级	63.00	2.50	0.50	0.25	33.5	1.00
四级	60.00	3.50	0.80	0.35	34.0	1.20

注：用于熔模铸造的锆砂质量放射性活度应小于1.85×10^4Bq/kg。

2）熔模铸造用锆砂粉的粒度见表9-71。

表9-71 熔模铸造用锆砂粉的粒度（JB/T 9223—1999）

目数	筛孔尺寸/μm		
	上筛	主筛	下筛
260	75	50	45
320	50	45	底盘

注：上筛残留量≤5%，主筛残留量>70%。

2. 表面活性剂

表面活性剂有两类：离子型（包括阴离子型、阳离子型、两性三种）和非离子型。熔模铸造用的是阴离子型和非离子型两类，其性能见表9-72。

表9-72 熔模铸造用的表面活化剂

阴离子型				
序号	商品名	学名	加入量(质量分数,%)	主要性能
1	M80或M50	烷基磺酸钠	0.01～0.03	pH=7～9，润湿性及渗透性好，发泡性大
2	简称A·B·S	十二烷基苯磺酸钠	0.01～0.03	
3	—	脂肪醇硫酸钠	0.01～0.03	渗透性好，发泡性大，价格较贵
4	梯波尔	仲烷基硫酸钠	0.01～0.03	
5	洗衣粉	以烷基磺酸和十二烷基苯磺酸钠为主	0.01～0.03	pH=9.5～10.5，发泡性大
6	上海牌洗净剂	以烷基磺酸和十二烷基苯磺酸钠为主	0.05～0.20	pH=8～9，发泡性大

（续）

序号	商品名	学名	加入量(质量分数,%)	主要性能
非离子型				
1	渗透剂 JFC（EA）	脂肪醇聚氧乙基醚	0.04～0.10	润湿性和渗透性好，泡沫少
2	润湿剂 TX-10（OP-10）	聚氧乙烯辛烷基酚醚	0.03～0.06	
3	农乳 130，100	烷基粉聚氧乙基醚	—	分散性好，泡沫少
4	海鸥牌洗净剂	以脂肪醇聚氧乙基醚硫酸钠及 TX-10 为主	0.05～0.20	润湿性和渗透性好，发泡性大

9.4.2 硅酸乙酯涂料及制壳工艺

硅酸乙酯型壳的耐火度高、尺寸精度高、表面光洁，故铸件表面质量好，但材料成本高。适用于铸造镍、铬、钴基的高温合金或含镍铬较高的不锈钢和耐热钢，如航空和燃气轮机用的高温合金铸件、石油化工机械和食品工业用的各种耐蚀不锈钢铸件或其他表面质量要求高的铸件。

1. 原材料准备

（1）耐火粉料　尽量采用含 Na_2O、K_2O、MgO 量较低的电熔刚玉、锆石、硅石、铝矾土和高岭石等。

（2）粘结剂——硅酸乙酯　硅酸乙酯属醇基易燃性液体。熔模铸造用的有硅酸乙酯 32、40。

1）熔模铸造用硅酸乙酯的技术要求见表 9-73。

表 9-73　熔模铸造用硅酸乙酯的技术要求（HB5345—1986）

品　种	技术指标					
	外观	SiO_2（质量分数,%）	酸度 [w(HCl),%]	110℃以下馏分含量（质量分数,%）	密度 d_4^{20} /(g/cm³)	运动粘度 /(m²/s)
硅酸乙酯 32	无色或淡黄,澄清微浊液体	32～34	≤0.04	≤2	0.97～1	$<1.6\times10^{-4}$
硅酸乙酯 40		40～42	≤0.015	≤3	1.04～1.07	$(3\sim5)\times10^{-6}$

注：国内主要用硅酸乙酯 32，国外普遍应用硅酸乙酯 40。

2）硅酸乙酯水解。除“硅酸乙酯 50”外，各种硅酸乙酯使用前必须经水解处理。

硅酸乙酯水解时，乙氧基（$-OC_2H_5$）被羟基（$-OH$）取代，同时有缩聚反应发生，形成各种聚合度和构型的聚乙氧硅氧烷即水解液。硅酸乙酯水解液的组分有：水、溶剂（乙醇）、盐酸、醋酸。

水解液中$\frac{H_2O}{SiO_2}$的摩尔比值，用 M 表示，即$\frac{H_2O}{SiO_2}=M$。一般 $M=0.25\sim0.5$。

当 $M<0.25$ 时，涂料稳定性好，干燥时间长，型壳强度高，但型壳内表面易产生“白霜”。

当 $M>0.75$ 时，涂料粘度增大，存放期短，型壳强度低。

SiO_2 的质量分数为 14% ~22%，对硅酸乙酯 32 最佳的范围为 16% ~19%，对硅酸乙酯 40 为 14% ~16%。

盐酸的质量分数可用 0.2% ~0.4%，最佳为 0.3% ~0.35%。

醋酸加入量，一般是在 1kg 硅酸乙酯中加入 4 ~5mL。

根据原硅酸乙酯中 SiO_2 的含量、对水解液中 SiO_2 的含量要求和 H_2O/SiO_2 的质量比值，从表 9-74 中可查出各组分的加入量。

表 9-74　水解 1kg 硅酸乙酯所需各组分的加入量　　（单位：mL）

水解液中 $w(SiO_2)$ (%)	硅酸乙酯中 $w(SiO_2)$ (%)	H_2O/SiO_2 =0.00		H_2O/SiO_2 =0.25		H_2O/SiO_2 =0.40		H_2O/SiO_2 =0.50		H_2O/SiO_2 =0.60		H_2O/SiO_2 =0.70		盐酸	醋酸
		乙醇	蒸馏水	乙醇	蒸馏水	乙醇	蒸馏水	乙醇	蒸馏水	乙醇	蒸馏水	乙醇	蒸馏水		
18	>30 ~30.5	603	127	631	152	613	167	602	176	588	186	572	201	11.5	4 ~5
	>30.5 ~31	701	124	669	149	651	164	640	174	626	184	610	199	11.7	
	>31 ~31.5	739	121	707	146	689	161	678	171	664	181	648	197	11.9	
	>31.5 ~32	777	118	745	143	727	158	716	169	702	179	686	195	12.1	
	>32 ~32.5	815	115	783	140	763	155	754	166	740	176	714	192	12.3	
	>32.5 ~33	853	112	821	137	803	152	792	164	778	174	752	190	12.4	
	>33 ~33.5	891	109	859	134	841	149	830	161	816	171	790	188	12.6	
	>33.5 ~34	929	106	887	131	879	146	868	159	854	169	828	186	12.8	
19	>30 ~30.5	545	133	514	158	496	173	483	182	470	192	455	207	10.9	4 ~5
	>30.5 ~31	581	130	550	155	532	170	519	180	506	190	490	205	11.0	
	>31 ~31.5	671	127	586	152	568	167	555	177	542	187	525	203	11.2	
	>31.5 ~32	653	124	622	149	604	164	591	175	578	185	560	201	11.4	
	>32 ~32.5	689	121	658	146	640	161	627	172	614	182	595	198	11.6	
	>32.5 ~33	725	118	694	143	676	158	683	170	650	180	630	196	11.8	
	>33 ~33.5	761	115	730	140	712	155	699	167	686	177	665	194	12.0	
	>33.5 ~34	797	111	766	137	748	152	735	165	722	175	700	192	12.2	
20	>30 ~30.5	439	140	408	165	390	180	380	189	354	199	347	214	10.3	4 ~5
	>30.5 ~31	474	137	443	162	425	177	414	187	390	197	381	212	10.5	
	>31 ~31.5	509	134	478	159	460	174	448	184	426	194	415	310	11.7	
	>31.5 ~32	544	131	513	156	495	171	482	182	462	192	449	208	10.9	
	>32 ~32.5	579	128	545	153	530	168	516	179	498	189	483	205	11.0	
	>32.5 ~33	614	125	683	150	565	165	550	177	534	187	517	203	11.2	
	>33 ~33.5	649	122	618	147	600	162	584	174	570	184	551	201	11.4	
	>33.5 ~34	664	119	653	144	635	159	618	172	606	182	585	199	11.6	

注：H_2O/SiO_2 为质量比。

3）硅酸乙酯的水解方法见表9-75。

表9-75　硅酸乙酯的水解方法

水解方法	工 艺 过 程	工 艺 特 点
一次水解	将乙醇和水加入水解器中，减半均匀，然后，加入盐酸和醋酸；在搅拌中缓慢加入硅酸乙酯（硅酸乙酯32的水解反应温度控制低于50℃，硅酸乙酯40低于40℃），加完后，继续搅拌30min，最后，装入容器内保存25h使用	操作简单，水解反应缓和，水解液粘度小，工艺稳定，型壳强度高，涂料使用周期长。但硅酸乙酯用量较大［$w(SiO_2)$ = 18% ~ 21%］，成本高
二次水解	先在水解器内加入乙醇总量的15%，再加入待水解硅酸乙酯总量的1/3，搅拌2~3min。在搅拌下加入酸化水（全部用水和盐酸预先混合好）总量的1/3，搅拌2~3min，控制水解反应温度<50℃。重复依次加完硅酸乙酯和酸化水后，继续搅拌30~60min。最后把全部乙醇和醋酸预先混合后加入，再搅拌30~60min。把水解液装入容器内保持24h后使用	操作复杂，较一次水解法反应激烈，水解液粘度大，弥散度低，型壳强度低，涂料使用周期短。但硅酸乙酯用量少［$w(SiO_2)$ = 12.5% ~14.5%］
综合水解	将乙醇、硅酸乙酯、耐火粉料一起加入涂料桶中，高速（2800r/min）搅拌，然后，加入酸化水（水和盐酸预先混好），搅拌1~1.5h后即可用以涂挂模组	操作简单，型壳强度高，水加入量和SiO_2含量对型壳强度敏感性不大，但涂料粘度不易调整。国内使用质量尚不稳定，应用还不普遍

4）硅酸乙酯水解液。配制涂料用的硅酸乙酯水解液，应是透明、无沉淀物和絮状物，SiO_2、HCl的含量和粘度，符合表9-76的要求。

表9-76　硅酸乙酯水解液的要求

硅酸乙酯	水解液要求		
	$w(SiO_2)(\%)$	$w(HCl)(\%)$	粘度/($\times10^{-6}m^2/s$)
硅酸乙酯32	16~19	0.25~0.35	3~6
硅酸乙酯40	14~16	0.25~0.35	3~8

（3）强化剂　强化剂是一种低粘度、高SiO_2含量的不完全水解的硅酸乙酯水解液，见表9-77。

表9-77　强　化　剂

组分	硅酸乙酯32 /mL	蒸馏水 /mL	乙醇 /mL	盐酸/mL ($\rho=1.19g/cm^3$)	使用前存放时间 /d
配比	1000	60~70	140~150	15~18	3~7

2. 硅酸乙酯涂料配制

（1）硅酸乙酯涂料的配方（见表9-78）

表 9-78　硅酸乙酯涂料的配方及应用范围

序号	涂料配方		密度/(g/cm³)	应用范围
	硅酸乙酯/mL	耐火粉料/kg		
1	1000	硅石粉 1.7～2.0	1.60～1.75	用于低合金钢、碳钢、铝合金和铜合金
2	1000	刚玉粉 2.2～2.8	2.00～2.30	用于 Ni、Cr、Co 基合金
3	1000	铝矾土粉 1.6～2.4	1.7～2.15	用于型壳加固层
4	1000	锆砂粉 2.8～3.8 硅铝系熟料 0.25	2.30～2.80	用于 Ni、Cr、Co 基合金

注：硅酸乙酯对耐火粉料中所含的磁性金属氧化物较为过敏，当含量过高时，将降低涂料的使用周期，或促使产生胶凝，因此，应尽量采用 Na_2O、K_2O、MgO 量较低的耐火粉料。

（2）硅酸乙酯涂料配制方法　硅酸乙酯涂料的配制应在专用的不锈钢容器内进行，要进行充分搅拌，搅拌时间≥1h，使涂料的粘度达到稳定后，才可涂挂模组。

3. 硅酸乙酯涂料型壳制造

硅酸乙酯涂料制壳，除硅酸乙酯外，还有硅酸乙酯和其他粘结剂的复合制壳工艺。

（1）硅酸乙酯涂料型壳制造工艺参数

1）硅酸乙酯-刚玉涂料制壳参数见表 9-79。

表 9-79　硅酸乙酯-刚玉涂料制壳参数

涂料层次	涂料密度/(g/cm³)	撒刚玉砂粒度（筛号）	自然干燥时间/h	吹风时间/h	胺硬化时间/min
1	2.1～2.2	50/100	2～4	—	30～40
2	2.0～2.1	30/50	—	2	30～40
3～6	1.9～2.0	20/40	—	2	30～40
浸强化剂	—	—	—	2	30～40

2）硅酸乙酯-锆砂粉涂料制壳参数见表 9-80。

表 9-80　硅酸乙酯-锆砂粉涂料制壳参数

涂料层次	涂料		撒砂种类及粒度代号	干燥时间/h
	种类	密度/(g/cm³)		
1	硅溶胶-锆砂粉	100mLϕ4mm 流杯 50～80s	锆砂，80/120	自干 4
2	硅酸乙酯-锆砂粉	2.3～2.35	刚玉砂，50/100	自干 2（胺硬化 30min）
3～8	硅酸乙酯-锆砂粉	2.3～2.35	铝矾土，30/50	自干 2（胺硬化 30min）
9	硅酸乙酯-锆砂粉	2.3～2.35	铝矾土，30/50	自干 36

（2）型壳制造的手工操作方法　手握焊接好的模组浇口棒把手，将模组浸入涂料桶内，使涂料浸没到浇口杯的杯口位置，均匀涂挂涂料后提起模组，待涂料流淌断线后放入撒砂桶内撒砂。撒砂桶内的砂粒在压缩空气的作用下产生悬浮流动现象（即砂粒沸腾现象），砂粒沸腾高度达25mm左右，浸有涂料的模组在桶中会沾满悬浮的砂粒，形成一层较薄的砂壳。沾挂砂粒时，手中的模组要在桶内转动，使砂粒沾挂均匀，但模组不能碰触桶底及桶壁，以免碰坏模组。

模组撒完第一层砂后就要硬化处理，然后继续重复涂挂涂料、撒砂、硬化三个工序，反复进行，就形成多层砂粒构成的型壳，薄小件为4～5层，中型件为5～6层，厚大一些的铸件多到10层。

在涂挂涂料的过程中，如果模组上有涂料气泡，要用压缩空气吹去气泡后再撒砂。根据涂料的性质不同，型壳的硬化方法和时间以及干燥方法和时间均有所不同，随着铸件结构、室温的变化其硬化和干燥时间也有所变化。

9.4.3　硅溶胶涂料及制壳工艺

1. 硅溶胶涂料

（1）粘结剂——硅溶胶　硅溶胶是一种水基粘结剂。常用水玻璃经离子交换去掉钠离子、氯离子和其他杂质，然后，经常压或真空浓缩而成。熔模铸造常用钠基硅溶胶的胶粒直径在8～12μm范围内。硅溶胶目前广泛应用于制作定向凝固、单晶铸造和要求表面晶粒细化的高温合金铸造用的型壳。

1）硅溶胶的技术要求见表9-81。

表9-81　熔模铸造用硅溶胶的技术要求

牌号	化学成分（质量分数,%）		物理性能				外观	稳定性
	SiO_2 含量	Na_2O 含量	密度/(g/cm³)	pH	运动粘度/(m²/s)	SiO_2 粒子直径/μm		
GRJ-26	24～28	≤0.3	1.15～1.19	9～9.5	≤6×10⁻⁴	7～15	乳白或淡青，无外来杂物	≥1a
GRJ-30	29～31	≤0.5	1.20～1.22	9～10	≤8×10⁻⁴	9～20		≥1a

2）硅溶胶的稀释处理。购进来的硅溶胶，在使用前，一般采用水或乙醇进行稀释处理，使硅溶胶中 $w(SiO_2)$ 降到20%～24%，粘度≤8×10^{-3}Pa·s。

①用水稀释时，则水的加入量：

$$W=A\left(\frac{a}{b}-1\right) \tag{9-9}$$

式中　W——需加入的水量（kg）；

A——硅溶胶用量（kg）；

a——原硅溶胶中的 $w(SiO_2)$（%）；

b——稀释后要求的 $w(SiO_2)$（%）。

②用乙醇稀释时，应按硅溶胶中的 SiO_2 含量决定需加入的乙醇数量，见表9-82。

表 9-82　稀释 100mL 硅溶胶的乙醇加入量

原硅熔胶中 $w(SiO_2)$ (%)	24	25	26	27	28	29	30	31
乙醇加入量/mL	15	20	25	30	33	38	40	45

（2）硅溶胶涂料的配制　熔模铸造用硅溶胶涂料的配比见表 9-83。

表 9-83　熔模铸造用硅溶胶涂料的配比

序号	涂料组成							密度 /(g/cm³)	涂料用途
	硅溶胶 [$w(SiO_2)$ = 30%]/kg	电熔刚玉 /kg	锆砂 /kg	石英玻璃粉/kg	铝酸钴晶粒细化剂 /kg	表面活性剂/kg	消泡剂 /mL		
1	12.1	32～36	—	—	—	24	16	2.3～2.5	表面层
2	10.0	—	36～40	—	—	16	12	2.7～2.8	表面层
3	12.1	—	—	17～18	—	24	16	1.7～1.8	表面层
4	10	—	—	—	29～30	—	—	≥2.40	铸件晶粒细化表面层
5	10	21～22（铝矾土粉）	—	—	—	—	—	2.0～2.1	背层

注：1. 常采用强制通风、控制空气的温度、湿度和流速，来加速硅溶胶涂料层的干燥。一般，空气温度为 20～28℃，相对湿度为 40%～70%，流速为 240～300m/min。

2. "硅溶胶-铝酸钴"涂料是表面细化层涂料。为了获得细小晶粒的铸件（不影响合金基础成分），在表面层涂料中加入铝酸钴粉料，在表面形成众多的晶核，从而达到晶粒细化的效果（如航空发动机铸造叶片）。

铝酸钴的制备——按质量分数：刚玉粉（W_2O）80%～85%＋工业纯氧化钴 20%～15% 混合，将混合料装入陶瓷罐内球磨 24h 以上，然后，取出放在 Al_2O_3 的陶瓷烧钵内，使混合物的厚度大于 50mm。加热煅烧规范为：在 1280～1300℃保温 4h，随炉冷却到 300℃出炉（煅烧后的混合物应具有强烈的蓝色特征）。在经破碎，用 0.07mm 筛孔的筛子过筛，即可用来配表面细化涂料。

2. 硅溶胶涂料制壳工艺

（1）制壳工艺参数

1）用于晶粒细化的硅溶胶制壳工艺见表 9-84。

表 9-84　用于晶粒细化的硅溶胶制壳工艺

涂料层数	涂料		撒　砂		干　燥			
	种类	粘度/s	种类	粒度(筛号)	温度/℃	风速/(m/min)	相对湿度(%)	时间/h
1	铝酸钴	45～55	刚玉	50/100	22～24	240～300	50～70	>3
2～3	铝矾土粉	13～15	铝矾土	40/70	22～24	240～300	40～60	2
4～7	铝矾土粉	10～13	铝矾土	40/70	24～26	240～300	40～60	2
8	浸强化剂	—	—	—	—	—	—	2

2）硅溶胶-刚玉涂料制壳工艺见表 9-85。

表 9-85　硅溶胶-刚玉涂料制壳工艺

涂　料		撒刚玉砂粒度（筛号）	干　燥			
层数	密度/(g/cm³)		温度/℃	风速/(m/min)	相对湿度（%）	时间/h
1	2.15～2.20	50/100	18～27	风扇吹风	<50	2～3
2	2.10～2.15	50/100	18～27	风扇吹风	<50	2～3
3	2.00～2.10	40/70	18～27	风扇吹风	<50	2～3
4	2.00～2.10	12/30	25～30	风扇吹风	<50	2～3
5～7	1.96～1.98	12/30	25～30	风扇吹风	<50	2～3

3）用于晶粒细化的硅溶胶-硅酸乙酯交替硬化制壳工艺见表 9-86。

表 9-86　用于晶粒细化的硅溶胶-硅酸乙酯交替硬化制壳工艺

涂料层数	涂料组成及密度要求			撒砂粒度（筛号）	风干时间/min
	耐火材料	粘结剂	密度/(g/cm³)		
1	铝酸钴	硅溶胶	2.2～2.3	50/100	60～90
2	铝矾土	硅酸乙酯	1.9～2.1	40/70	45～60
3	铝矾土	硅溶胶	1.9～2.1	40/70	60～90
4	铝矾土	硅酸乙酯	1.9～2.1	12/30	45～60
5	铝矾土	硅溶胶	1.9～2.1	12/30	60～90
6	铝矾土	硅酸乙酯	1.9～2.1	12/30	45～60

（2）制壳工艺　参考第 9.4.4 节中的制壳工艺。

（3）硅溶胶涂料型壳硬化干燥工艺规范（见表 9-87）

表 9-87　硅溶胶涂料型壳硬化干燥工艺规范（参考）

层次	撒砂粒度组别	在抽风干燥箱内干燥时间/h	氨气中的硬化时间/min	在抽风干燥箱内的硬化时间/min
1	30，20	2～2.5	10～25	10～30
2	30	2	10～25	10～30
3	60，30	2	10～25	10～30
4	60，30	2	10～25	10～30
5	85	1.5	15～25	10～30
6	85	1.5	15～25	10～30

注：使用时，视具体情况调整。

硅溶胶涂料流动性略差些，每层挂砂厚度较厚，型壳强度也较高，一般铸件涂挂到 6 层左右即可达到所需型壳厚度。

如果需要高强度型壳，可在挂完最后一层砂后，将型壳在硅溶胶中强化 2～3min，再风干 2h，等待型壳彻底干透后，再脱蜡。

3. 硅溶胶-硅酸乙酯混合粘结剂及制壳工艺

（1）硅溶胶-硅酸乙酯混合粘结剂（见表 9-88）

表 9-88　硅溶胶-硅酸乙酯混合粘结剂的组分

组　分			性　能		
$w(SiO_2)$(%)	$w(H_2O)$(%)	w(溶剂)(%)	pH 值	密度/(g/cm^3)	粘度/Pa·s
20	36	38	2.0～3.0	1.03	$(6\sim8)\times10^{-3}$

注：硅溶胶-硅酸乙酯混合粘结剂的特点是：兼有硅溶胶和硅酸乙酯型壳的优点，又避免了它们的不足。不易燃，干燥速度快于硅溶胶涂料，高温强度和变形度好于硅酸乙酯型壳，不需氨气干燥。

（2）混合粘结剂的制壳工艺　表面层涂料自然干燥 2h，第二层以后，每层干燥 1.5～2h，不需用氨气干燥，涂完所有的层次后，最后，用硅酸乙酯强化剂浸 3～5min。

9.4.4　水玻璃涂料及制壳工艺

水玻璃型壳广泛应用于铸造碳钢、低合金钢、铝合金和铜合金。

1. 水玻璃涂料

（1）粘结剂——水玻璃　熔模铸造用水玻璃的模数为 3.0～3.4，密度为 1.27～1.34g/cm^3。选用国家标准 GB/T 4209—1996 中的液-1、液-2、液-3。其中，液-1 降低模数使用，液-2 用水稀释后使用，液-3 提高模数后使用。

1）熔模铸造用水玻璃的技术指标见表 9-89。

表 9-89　熔模铸造用水玻璃的技术指标（GB/T 4209—1996）

指标 ＼ 牌号	液-1			液-2			液-3		
	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
w(Fe)(%)≤	0.02	0.05	—	0.02	0.05	—	0.02	0.05	—
w(水不溶物)(%)≤	0.20	0.40	0.50	0.20	0.40	0.50	0.20	0.60	0.80
密度(20℃)/(g/cm^3)	1.318～1.342			1.368～1.394			1.436～1.465		
$w(Na_2O)$(%)≥	7.0			8.2			10.2		
$w(SiO_2)$(%)≥	24.6			26.0			25.7		
模数 M	3.5～3.7			3.1～3.4			2.6～2.9		

2）配制涂料用水玻璃的技术要求见表 9-90。

表 9-90　配制涂料用水玻璃的技术要求

用途 ＼ 指标	$w(SiO_2)$(%)	$w(Na_2O)$(%)	模数 M	密度(20℃)/(g/cm^3)
表面层涂料	21～23	6.5～7.5	3.0～3.4	1.27～1.31
加固层涂料	23～27	7.5～9.0	3.0～3.4	1.29～1.34

注：购进的水玻璃，需按表 9-89 的技术要求进行调整和处理，才能配涂料。

3）水玻璃模数和密度的调整方法

①提高模数。是在水玻璃中加入 NH_4Cl 或 HCl，中和部分 Na_2O，使 SiO_2 与 Na_2O 的比值增大。

②降低模数。是在水玻璃中加入 Na(OH) 增大 Na_2O 含量，使 SiO_2 与 Na_2O 的比值降低。通常，各水玻璃生产化工厂均能按用户需求，提供相应模数的水玻璃。

③调整水玻璃密度的加水量。根据原水玻璃的密度和稀释后的要求，水的加入量可从表 9-91 中查出。

表 9-91　每公斤水玻璃调整到要求密度所需加水量

原水玻璃密度/(g/cm³)	调整后水玻璃的密度/(g/cm³)								
	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34
	每公斤水玻璃调整到要求密度所需加水量/mL								
1.27	30	—	—	—	—	—	—	—	—
1.28	60	29	—	—	—	—	—	—	—
1.29	89	57	28	—	—	—	—	—	—
1.30	118	85	55	27	—	—	—	—	—
1.31	147	113	82	53	25	—	—	—	—
1.32	175	140	108	78	90	24	—	—	—
1.33	202	167	134	104	75	49	23	—	—
1.34	230	193	160	129	100	72	47	23	—
1.35	256	219	185	153	125	96	69	45	22
1.36	283	245	210	177	147	119	92	69	43
1.37	309	270	235	201	170	141	114	88	64
1.38	334	295	259	225	193	164	136	110	85
1.39	360	319	281	248	216	186	157	131	106
1.40	384	343	306	271	238	207	179	152	126
1.41	409	368	329	293	260	229	199	172	146
1.42	433	391	352	316	282	250	220	192	166
1.43	457	414	375	338	303	271	240	212	185
1.44	480	437	397	359	324	291	260	231	204
1.45	504	460	419	380	345	311	280	251	223

4）表面活性剂——如农乳 130（或 100）、JFC、TX-10 等。

5）消泡剂——采用正辛醇。

（2）水玻璃涂料的配制

1）水玻璃涂料配比

①水玻璃表面层涂料的配比见表 9-92。

表9-92　表面层涂料的配比

名称	涂料组分/kg			粘度/s	应用范围
	耐火粉料	水玻璃	外加润湿剂（质量分数,%）		
水玻璃-普通硅石粉	1.05～1.15	1	JFC 0.03～0.05	20～30	碳钢、低合金钢、铜合金和铝合金
水玻璃-双峰级配硅石粉	1.3～1.5	1	JFC 0.03～0.05	—	
水玻璃-次刚玉粉	1.9～2.0	1	JFC 0.05	—	含Ni、Cr合金钢

②加固层涂料的配比见表9-93。

表9-93　加固层涂料的配比

名　称	涂料组分/kg			粘度/s	性能特点	
	耐火粉料	水玻璃	外加润湿剂（质量分数,%）		强度	铸后残留强度
水玻璃-硅石粉-粘土	硅石粉0.5～0.6 粘土0.4～0.5	1	JFC 0.03～0.05	25～40	高	低
水玻璃-煤矸石粉-粘土	煤矸石粉0.7～0.8 粘土0.2～0.3	1	—	20～30	高	中等
水玻璃-铝矾土	铝矾土粉1.7～1.8	1	农乳130 0.05	18～20	高	高
水玻璃-匣钵粉	匣钵粉1.15～1.20	1	TX-10 0.05	11～25	高	中等
水玻璃-古冶铝矾土	铝钒土粉0.7～0.8 粘土0.2～0.3	1	—	20～30	高	中等

③复杂细孔用涂料的配比见表9-94。

表9-94　复杂细孔用涂料的配比

层次	涂料组分/kg			外加苯二甲酸二丁酯（质量分数,%）	外加正辛醇（质量分数,%）	粘度/s
	硅石粉	粘土	水玻璃			
表面层	42～43	—	57～58	0.5～0.6	0.05～0.07	8～15
过渡层	26～28	16～18	56～57	—	—	10～18
加固层	30	20	50	—	—	30～40

2）水玻璃涂料混制操作方法。在专用涂料桶内加入所需的水玻璃，在搅拌中加入粉料，加入粉料后继续搅拌30min以上，然后，加入表面活性剂和消泡剂。

用搅拌器以2000r/min的转速搅拌30～60min，然后静置30min，让硅石粉充分润湿，让气泡逸出即可使用。

3）涂料粘度的检测。一般在涂料混制结束后，要检测涂料粘度。检测方法常用流杯粘度计法（漏斗式粘度计）。流杯粘度计（又称漏斗粘度计）如图9-11所示。

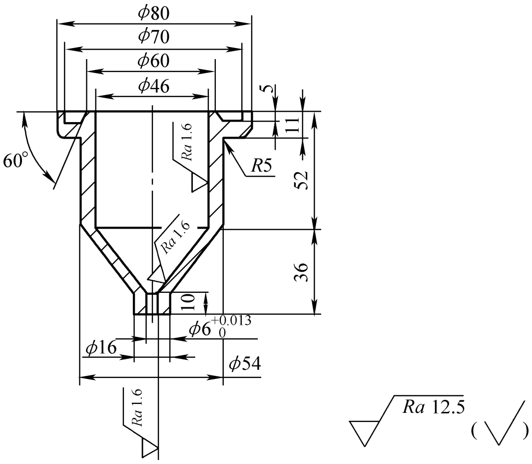


图 9-11　流杯粘度计（JB/T 4007—1999）

注：圆角 $R=2$mm。

操作方法是：用手指堵住粘度计流出孔，将涂料倾注于粘度计里，稍过量，让多余的溢流于边槽上，自行定量。放开手指让涂料流出，在放开手指的同时按下秒表计时。用最后一滴断流为止所需的时间秒数，来衡量涂料的粘度。

2. 制壳工艺

（1）硬化剂　熔模铸造中型壳的硬化剂有四种：氯化铵、氯化镁、结晶氯化铝和聚合氯化铝，见表 9-95。

表 9-95　熔模铸造常用硬化剂

硬化剂名称	化学式	工 艺 特 点	环保特点
氯化胺	NH_4Cl	氯化铵硬化剂是用氯化铵和水配制而成。硬化剂粘度小，渗透性好，硬化层厚，生产率高，使用安全；铸件表面粗糙度值小，型壳湿强度高，高温强度低，溃散性好	硬化时产生刺激性氨味，污染空气，劳动条件差，锈蚀设备
氯化镁	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	硬化剂粘度大，渗透性差，硬化层薄，硬化时间长；型壳强度高，可以单壳浇注；资源广，成本低	不产生刺激性气体，不锈蚀设备
结晶氯化铝	$AlCl_3 \cdot 6H_2O$	硬化剂粘度大，渗透性差，硬化层薄，硬化时间长；型壳强度高，可以单壳浇注	不产生刺激性气体，不锈蚀设备
聚合氯化铝（简称 PAC）	$[Al_2(OH)_n \cdot Cl_{6-n}]_m$	硬化剂粘度大，渗透性差，硬化层薄，硬化时间长；型壳强度高，可以单壳浇注	不产生刺激性气体，不锈蚀设备

（2）水玻璃涂料制壳工艺参数

1）氯化铵硬化剂制壳工艺参数见表 9-96。

表 9-96 氯化铵硬化剂制壳工艺参数

涂料			撒砂粒度（筛号）	硬化		干燥时间/min	
层次	品种	粘度/s		硬化及温度/℃	硬化时间/min	硬化前	硬化后
1	硅石粉	25～40	70/140	28～32	3～5	30～90	20～30
2	硅石粉	20～35	70/140	28～32	3～5	5～15	20～30
3	硅石粉-粘土	23～35	70/140	30～35	5～10	5～10	20～30
4	硅石粉-粘土	23～35	12/30	30～35	5～10	5～10	20～30
5	硅石粉-粘土	23～35	12/30	30～35	5～10	5～10	20～30

2）氯化镁硬化剂制壳工艺参数见表 9-97。

表 9-97 氯化镁硬化剂制壳工艺参数

涂料			撒砂粒度（筛号）	硬化剂与温度/℃	硬化时间/min	干燥时间/min	
层次	品种	粘度/s				硬化前	硬化后
1	硅石粉	25～40	70/140	氯化铵 10～25	5～10	60～90	20～30
2	硅石粉	20～35	70/140	氯化铵 10～25	5～10	10～30	20～30
3	煤矸石粉	20～30	70/140	氯化镁 15～30	10～20	10～30	20～30
4	煤矸石粉	20～30	12/30	氯化镁 15～30	10～20	10～30	20～30
5～6	煤矸石粉	20～30	12/30	氯化镁 15～30	10～20	10～30	20～30

3）结晶氯化铝硬化剂制壳工艺参数见表 9-98。

表 9-98 结晶氯化铝硬化剂制壳工艺参数

层次	结晶氯化铝硬化剂				撒砂粒度（筛号）	硬化时间/min	干燥时间/min	
	含量（质量分数，%）	密度/(g/cm^3)	碱化度（%）	pH			硬化前	硬化后
1	30～33	1.16～1.18	<10	1.4～1.7	70/140	15	3～4	8
2	30～33	1.16～1.18	<10	1.4～1.7	70/140	15	3～4	8
3～6	30～33	1.16～1.18	<10	1.4～1.7	12/30	—	3～4	25

4）聚合氯化铝硬化剂制壳的工艺参数见表 9-99。

表 9-99 聚合氯化铝硬化剂制壳的工艺参数

层次	聚合氯化铝硬化剂				撒砂粒度/筛号	硬化时间/min	硬化后干燥时间（30～35℃热风）/min
	$w(Al_2O_3)$（%）	密度/(g/cm^3)	碱化度（%）	pH			
表面层	9.3～10.5	1.18～1.20	45～50	2.3～2.6	70/140	5～20	10
加固层	9.3～10.5	1.18～1.20	45～50	2.3～2.6	12/30	4～6	10

（3）制壳工艺　型壳制作工艺方法有机器操作和手工操作两种方法。

1）手工制壳方法。手握焊接好的模组浇口棒把手，将模组浸入涂料桶内，使涂料浸没到浇口杯的杯口位置，均匀涂挂涂料后提起模组，待涂料流淌断线后放入撒砂桶内撒砂。撒砂桶内的砂粒在压缩空气的作用下产生悬浮流动现象（即砂粒沸腾现象），砂粒沸腾高度达25mm左右，浸有涂料的模组在桶中会沾满悬浮的砂粒，形成一层较薄的砂壳。沾挂砂粒时，手中的模组要在桶内转动，使砂粒沾挂均匀，但模组不能碰触桶底及桶壁，以免碰坏模组。常见的流态撒砂机，如图9-12所示。

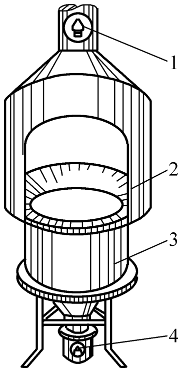


图9-12　流态撒砂机
1—阀门　2—罩壳
3—盛砂桶　4—阀门

模组撒完第一层砂后就要硬化处理，然后继续重复涂挂涂料、撒砂、硬化三个工序，反复进行，就形成多层砂粒构成的型壳，薄小件为4~5层，中型件为5~6层，厚大一些的铸件多到10层。

在涂挂涂料的过程中，如果模组上有涂料气泡，要用压缩空气吹去气泡后再撒砂。根据涂料的性质不同，型壳的硬化方法和时间以及干燥方法和时间均有所不同，随着铸件结构、室温的变化其硬化和干燥时间也有所变化。

2）水玻璃型壳硬化干燥工艺。水玻璃型壳每撒一层砂都要硬化干燥一次，其工艺规范见表9-100。

表9-100　水玻璃涂料型壳硬化干燥的工艺规范

型壳层次	撒砂粒度组别	化学硬化前空气硬化时间/h	氯化铵（质量分数,%）	氯化铵溶液温度/℃	氯化铵溶液中硬化时间/s	化学硬化后自然干燥时间
1	30，21	1~15（手工操作）	18~25	20~35	5~15	手工操作30~80min 机械化流水线操作，用40℃左右热风吹8~10min
2	42，30			20~35	5~15	
3	85，60			20~40	5~15	
4层以后	85			20~40	10~20	

硬化后自然干燥时间以型壳“不湿不白”为准，“湿”表示未干透，“白”是干燥过分。要求硬化干燥场地通风条件好，场地温度控制在18~30℃。

如果型壳制好后要存放几天再脱蜡，则最后一层不用氯化铵溶液硬化，可让其自然干燥硬化。

如果为了缩短硬化干燥周期，可以不断提高每层型壳的硬化剂浓度和温度，使型壳各层快速硬化。快速硬化的型壳强度高、易清砂，但要求表面涂料粘度要低，否则，硬化不透，影响铸件表面质量。

9.4.5　硅溶胶-水玻璃复合制壳工艺

硅溶胶-水玻璃复合制壳工艺见表9-101。

表 9-101 硅溶胶-水玻璃复合制壳工艺

层次	涂料	撒砂	干燥硬化	温度/℃	相对湿度（%）
表面层	硅溶胶、锆石粉（40μm）	锆砂（0.130mm）	≈12h	25	≤55
2层	硅溶胶、锆石粉（40μm）	莫来石砂（0.6～0.28mm）	≈12h	25	≤55
3层	水玻璃、莫来石粉；粘度低	莫来石砂（2～0.85mm）	自干1～2h后结晶氯化铝硬化10min，干燥20～30mm	室温	
4～6层	水玻璃、莫来石粉；粘度正常	莫来石砂（2～0.85mm）	最好先自干，也可直接硬化	室温	

9.4.6 型壳缺陷、原因分析及解决方案

1. 硅酸乙酯型壳的缺陷、原因分析及解决方案（见表 9-102）

表 9-102 硅酸乙酯型壳的缺陷、原因分析及解决方案

序号	缺陷名称	原因分析	解决方案
1	强度不高	1）水解液中 SiO_2、HCl 含量或粘度不符合要求 2）水解时水解反应温度控制不当 3）室温过低、干燥不良或氨干时间不足 4）使用过期涂料	1）检查水解液 SiO_2、HCl 含量，粘度过大的水解液不宜使用 2）延长干燥时间，或使用吹风干燥，检查氨气浓度或延长氨干时间 3）控制室内温度 4）检查涂料是否过期 5）模组最后浸强化剂一次
2	脱蜡裂纹	1）脱蜡介质温度低 2）型壳强度低 3）浇注系统设计不合理，不利于蜡料的排出	1）提高脱蜡介质的温度，用蒸汽脱蜡时，增大压力；用水脱蜡时提高水的温度 2）增加涂料层数 3）改正浇注系统设计使有利于蜡的排出
3	内表面分层	1）表面层撒砂过细，或撒砂中的粉尘过多 2）模组浮砂过多 3）第二层涂料粘度过大，润湿性差 4）第二层以后干燥不足 5）氨干时间不足，或氨水浓度低	1）改用略粗的撒砂粒度 2）清理模组浮砂 3）降低第二层涂料的粘度，或在涂第二层涂料前，先用水解液润湿模组 4）延长第二层以后的自干时间和氨干时间 5）延长氨干时间，或提高氨水浓度

（续）

序号	缺陷名称	原因分析	解决方案
4	内表面“白霜”	1）室温和湿度低，或水解液加水量少 2）浸强化时间过长，强化剂沉积于熔模表面	1）提高室温和采取措施加大相对湿度 2）取消或缩短中间层浸强化剂的时间 3）表面层改用硅溶胶涂料
5	内表面“蚁孔”	1）表面层涂料粘度小，撒砂粒度过粗 2）涂料时操作不当，表面吸附气体不能排出	1）增大涂料的粘度，使涂层厚度增大，降低撒砂粒度 2）改善操作，控制涂料流向，或将模组反复多次浸入涂料中以利排气
6	内表面鼓胀	1）加固层涂料过厚，干燥不透 2）型壳的强度低	1）降低加固层涂料的粘度，延长干燥时间 2）改善操作，避免涂料堆积
7	干燥过程面层涂料剥落	1）室温过低，蜡模收缩使涂料层与蜡模结合不牢 2）室内相对湿度太低，溶剂蒸发过快	1）提高室内温度 2）增大室内湿度
8	涂料胶凝	1）用具带有碱性物质 2）粉料不符合要求，含碱性物质过高 3）水解液不符合要求	1）检查所用工具是否带有碱性物质 2）分析粉料 Na_2O、K_2O、CaO 和 MgO 的含量 3）测定水解液的粘度是否过大

2. 水玻璃型壳的常见缺陷及解决方案（见表 9-103）

表 9-103　水玻璃型壳的常见缺陷及解决方案

序号	缺陷名称	原因分析	解决方案
1	表面蚁状空洞	1）涂料润湿性差，不能完整包裹熔模表面 2）熔模表面未脱脂活化 3）涂料密度低，粘度小，涂层厚，撒砂粒度粗穿透涂料层，沉积到熔模表面	1）涂料中加入表面活性剂，增强其润湿能力 2）降低水玻璃密度，增加面层涂料的粉料加入量，提高涂料粘度 3）用酒精水溶液洗涤熔模活化表面 4）降低撒砂粒度 5）采用双峰级配粉料
2	表面凹陷	1）涂料粘度大，涂层厚，胶凝时涂层内外表面收缩不匀 2）硬化前自然干燥不足 3）硬化剂的渗透能力低	1）降低涂料粘度，减少涂料外表面与内层凝固收缩的不均匀性 2）延长硬化前的自干时间 3）控制涂料，避免堆积 4）在硬化剂内添加表面活性剂，提高渗透能力 5）改变面层硬化剂 6）改变熔模与涂料的润湿性

（续）

序号	缺陷名称	原因分析	解决方案
3	表面鼓胀	1）加固层涂料粘度大，涂料层过厚硬化不透 2）涂料堆积，硬化不透 3）撒砂粒度过细，或粉尘过多	1）降低涂料粘度，减薄涂料层厚度，避免涂料堆积 2）增大撒砂粒度，降低撒砂中的粉尘 3）延长硬化前的自然干燥时间 4）大平面铸件，增加涂料层数，或设置工艺肋，最后从铸件上磨掉
4	型壳分层	1）撒砂过细，粉尘过多 2）涂料粘度过大，润湿能力低 3）浮砂过多 4）涂料堆积，个别层次硬化不透	1）增大撒砂粒度，或减少撒砂中的粉尘 2）降低涂料粘度，或在涂料内加入表面活性剂 3）清理过多的浮砂 4）延长硬化时间
5	型壳裂纹	脱蜡后可见裂纹 1）涂料层强度不足 2）水玻璃模数低、密度大，涂料粘度高、涂料层厚。硬化不透，Na_2O 含量高 3）水玻璃粘度大，粉料加入量少 4）脱蜡介质温度低，脱蜡时间过长 5）硬化过度	1）增加脱蜡层数，提高型壳的整体强度，在熔模的棱角、边缘和浇口杯等处，控制涂料层厚度的均匀性 2）严格控制水玻璃的模数、密度和涂料的粘度 3）检查硬化剂的浓度 4）控制水玻璃温度，温度过低，水玻璃粘度增大，使型壳强度降低 5）提高脱蜡介质的温度，缩短用水脱蜡的时间
6	高温强度低	焙烧后可见裂纹 1）脱蜡后停放时间短，型壳内水分过大 2）装炉温度过高，升温速度过快，耐火材料产生某种相变	1）延长脱蜡后到装炉焙烧的时间 2）降低装炉温度和升温速度，避免局部过热 3）避免型壳重叠焙烧
7	高温强度低	1）加固层的水玻璃模数低，SiO_2 含量低 2）涂料层薄，撒砂粒度细 3）硬化不透 4）涂料配比不当，Al_2O_3 含量过低	1）提高加固层水玻璃密度和 SiO_2 含量 2）增加涂料层数，加大撒砂粒度 3）检查硬化剂浓度，提高溶液温度，增强硬化效果 4）调整涂料配比，可适当增加加固层涂料中的粘土含量
8	高温变形	1）型壳中 Na_2O 含量过高 2）焙烧温度过高 3）涂料中含 Al_2O_3 量过少，烧结相过多，收缩大	1）提高硬化剂温度，延长硬化时间 2）控制型壳的焙烧温度，硅砂型壳不大于 850℃，硅铝系耐火材料不大于 950℃

9.5　脱蜡及焙烧

9.5.1　脱蜡工艺

1. 常用脱蜡方法（见表9-104）

表9-104　常用脱蜡方法

脱蜡方法	工艺条件	特　　点	应　用
热水脱蜡	水温95℃ ±5℃，脱模时间 < 30min 当脱蜡的模组是水玻璃模壳时，可加入质量分数为1% ~ 3%的NH_4Cl、HCl或H_3BO_3	1）适用于熔点 < 80℃的模料，模料回收率达80% ~90% 2）砂粒容易掉进型壳内，增大铸件产生冶金缺陷的几率，且降低型壳的强度	广泛应用于水玻璃型壳，少量用于硅酸乙酯和硅溶胶型壳
高压蒸汽脱蜡	压力0.39 ~0.75MPa 温度140 ~170℃，时间6 ~ 15min	1）适用于熔点 < 100℃的松香基和蜡基模料 2）热容量大，脱模时间短，能减少壳裂	应泛应用于硅溶胶型壳、硅酸乙酯型壳
常压蒸汽脱蜡	蒸汽压力为98kPa，温度100℃ 时间20 ~30min	1）适用于熔点80 ~90℃的模料，模料回收率达78% ~93%，低温模料皂化严重 2）能减少砂粒掉入型壳内的几率	应用较少

2. 热水脱蜡装置及操作方法

热水脱蜡主要适用于水玻璃型壳、蜡基模料、熔化温度小于80℃的蜡模。热水脱蜡装置如图9-13所示。

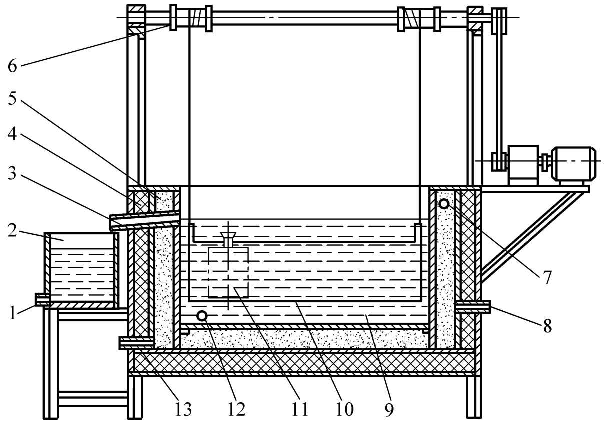


图9-13　热水脱蜡装置

1—出蜡口　2—接蜡桶　3—溢蜡桶　4—保温层　5—蒸汽
6—绳轮　7—溢气口　8—进气口　9—热水池
10—吊兰　11—型壳　12、13—放水口

热水脱蜡装置有手动操作和电动操作两种。

加热方法可采用：①电热元件加热；②用水蒸气直接加热；③用水蒸气间接加热。

将干燥合格的挂砂模组放入升降吊兰中，直接进入90~95℃热水中，蒸汽间歇保持热水温度，蜡料从模组浇口处外溢于水面，并经溢蜡口排出水箱。

小件蜡模熔失时间不超过30min，大件蜡模不能超过40min。原则上，在热水中的时间越短越好，以防煮坏型壳，或降低型壳强度。

如果在水中加入占水重量1%~2%的NH_4Cl、HCl附加物，调整pH值在6~7之间，可以防止水混浊。热水熔失蜡膜的模料回收率达80%~95%。

3. 蒸汽脱蜡装置及其操作方法

蒸汽脱蜡适用于熔点在80~90℃的模料，模料回收率达80~93%。此方法不适用于水玻璃蜡基模料熔失，因为会出现型壳皂化现象。

蒸汽脱蜡是将需脱蜡的模组倒放排列于蒸箱内，关好箱门，通入压力为0.3~0.4MPa的蒸汽，蒸汽温度控制在100~120℃，熔失时间控制在15min内。蒸汽喷嘴不能对着型壳，以防冲坏型壳。熔失的模料通过蒸箱底部出口排出。

蒸汽脱蜡装置分两种：连续式蒸汽脱蜡装置；间歇式蒸汽脱蜡装置。

（1）连续式蒸汽脱蜡装置（见图9-14） 该装置外形尺寸（mm）：6056×1626×1900，生产率为150~200个模组/h，脱蜡温度为110℃，蒸汽消耗量约为25kg/h，蒸汽压力为0.4MPa，装置总重为4737kg。

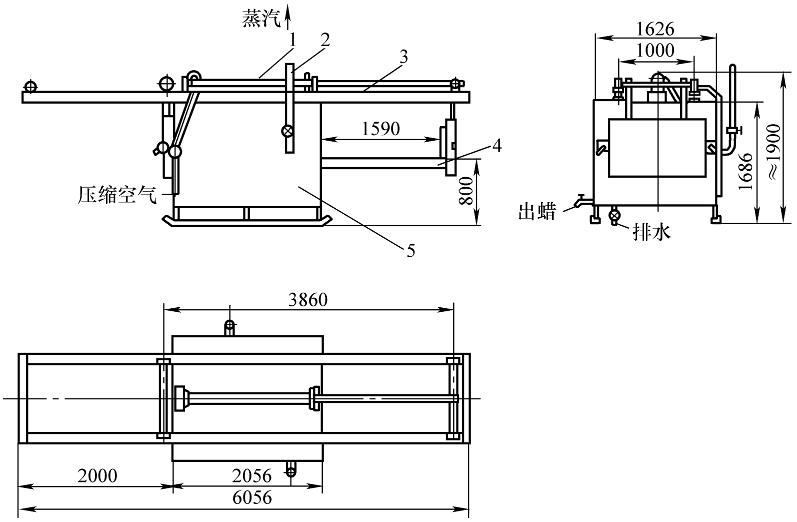


图9-14 连续式蒸汽脱蜡装置

1—气缸 2—蒸汽管 3—轨道 4—移动支架 5—箱体

连续式蒸汽脱蜡装置的操作方法：脱蜡时，在移动支架的一端装入模组，然后，通过气缸把模组送入箱体内，并关闭箱体门。通入热的水蒸气进行脱蜡。同时，在移

动支架的另一端，装上待脱蜡的模组。

当第一批模组脱完蜡拉出箱体的同时，另一端第二批模组又送入箱体进行脱蜡。

（2）间歇式蒸汽脱蜡装置（见图 9-15）　该装置输入功率为 99kW，蒸汽生产量为 158kg/h，最大工作压力为 860kPa，加热时间约为 2h，脱蜡室容积为 ϕ1100mm×1500mm。

间歇式蒸汽脱蜡装置的操作方法：该装置是用装置内 4 组电加热元件加热水产生的蒸汽脱蜡的。

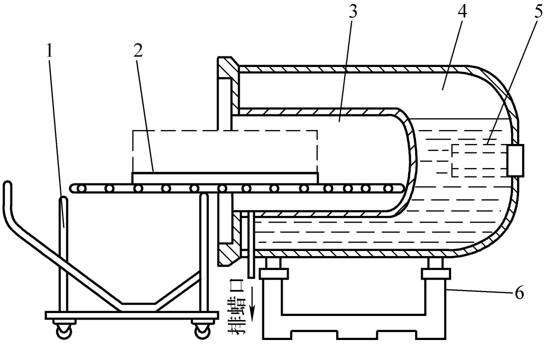


图 9-15　间歇式蒸汽脱蜡装置

1—手车　2—放置模组盘　3—脱蜡室　4—高压釜　5—电加热器　6—支座

脱蜡时，首先通电加热，待蒸汽压力达到要求后，即可把模组装入脱蜡盘内送进脱蜡室，锁紧釜门，送气脱蜡。脱完蜡后，取出模壳，再装入第二批模组，重复循环脱蜡。

9.5.2　造型方法

各类铸型的造型方法见表 9-105。

表 9-105　各类铸型的造型方法

铸型种类	填料组成	操作要点
干填料	1）干填料：粘土熟料、硅砂，或其他耐火材料。块度为 3 ~ 8mm 2）填料中可加入适量渗碳剂，以防脱碳	1）用不锈钢或耐热钢砂箱，在砂箱底部铺放≥25mm 厚砂层，然后放入型壳，型壳离砂箱壁的距离≥20mm 2）在震实台上震实
湿填料	硅砂（筛号 50/100）88%；矾土水泥（400 号）12%；外加水 30% ~45%	用无底耐热钢砂箱，在砂箱内壁衬以电缆纸，在震实台（振幅 2 ~ 3mm，振频 200 ~ 500 次/min）上造型
单壳①	用硅酸铝纤维（厚 10 ~ 15mm）布包裹型壳	将硅酸铝纤维裁成合适形状，包裹型壳，再用钢丝捆紧

①　非真空浇注的型壳，可不包裹硅酸铝纤维，直接用于浇注。

9.5.3　型壳焙烧

脱完蜡的型壳，经一定时间自然干燥后，再进行焙烧（和浇注）。焙烧次数根据材料和工艺而不同。

1. 型壳熔烧炉的选用

型壳焙烧炉的形式，从热源看，有电阻炉、气炉、油炉等；从结构看，在生产中，型壳焙烧有箱式炉焙烧和连续隧道窑焙烧。根据技术要求和工厂条件选用。

（1）箱式炉型壳焙烧温度

1）水玻璃粘结剂型壳焙烧温度。水玻璃粘结剂型壳焙烧分为低温焙烧、干填料高温焙烧和单壳高温焙烧。水玻璃型壳低温（200～500℃，保温 2h）焙烧后，可存放一周，再高温焙烧。浇注前，水玻璃型壳干填料高温焙烧是在 800～850℃保温 2～4h，水玻璃单壳高温焙烧是在 850～900℃保温 0.5～1h。水玻璃型壳的焙烧温度见表 9-106。

表 9-106　水玻璃型壳的焙烧温度

型壳种类	硅砂型壳	硅砂-粘土型壳	铝矾土型壳	高岭石熟料型壳
焙烧温度/℃	800～850	850～900	900～950	900～950

2）硅酸乙酯和硅溶胶粘结剂型壳焙烧。一般采用两次焙烧，第一次是预烧，烧尽残留有机物和水分，提高型壳强度。第二次焙烧是浇注前的焙烧。焙烧温度见表 9-107。

表 9-107　硅酸乙酯和硅溶胶粘结剂型壳的焙烧及检查

型壳类型	预焙烧		摇壳	检查裂纹	浇注前焙烧	
	温度/℃	时间/h			温度/℃	造型
表面层铝酸钴型壳 刚玉型壳 铝矾土型壳	850～900	1.5～2	型壳出炉冷至室温 1）用手工摇动型壳至内部无杂物掉出 2）用 0.04～0.058MPa 的压缩空气吹型壳内腔，然后，用手工摇壳至无杂物掉出	1）用目视检查 2）用甲基蓝乙醇溶液注入型壳内，检查是否有甲基蓝颜色渗出	900～950	根据工艺要求，用单壳或用干砂造型浇注

（2）连续式隧道窑焙烧规范　连续式隧道窑温度区长度和温度：炉门区长度≈4m，温度为 300～350℃；过渡区长度≈4m，温度为 350～850℃；高温区长度≈3m，温度为 850～950℃。

2. 装箱与固定

型壳的装箱、填砂并固定的操作即造型，形成铸型。

1）对于低强度型壳必须放入有底砂箱中，在型壳周围填实干硅砂，然后再进炉焙烧。

2）对于薄壁铸件型壳，采用离心浇注，或翻斗浇注。在型壳装箱后用砂填充，然后再用 w（硅砂）93%＋w（水玻璃）7% 的调合料封口，固定型壳，如图 9-16 所示。

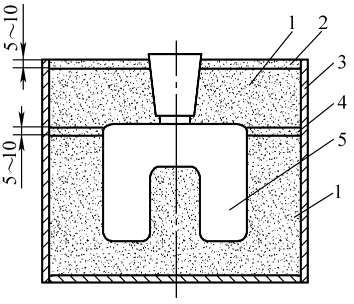


图 9-16　型壳装箱固定示意图
1—干硅砂　2—水玻璃砂封口层　3—箱体
4—加固层　5—铸型

型壳周围的填充料：分为干填充料和湿填充料两种，干填充料用较粗粒度硅砂，湿填充料用 w

（细硅砂）84% ~90% + w（矾土水泥）10% ~16% + 适量水，调制而成。

3）高强度水玻璃型壳也可不装箱焙烧。

3. 焙烧操作方法

型壳（铸型）焙烧一般采取先低温烘干、后高温熔烧的方法。低温烘干和高温焙烧可以连续进行，也可以低温烘干后出炉，然后重新入炉熔烧。

型壳低温烘干温度为 300 ~450℃，烘干时间为 1.5 ~2h。

型壳高温焙烧温度为 780 ~950℃，不装箱型壳的焙烧时间为 1 ~2h，装箱型壳的焙烧时间为 2 ~2.5h。

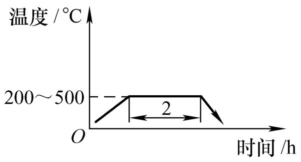
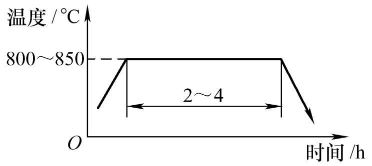
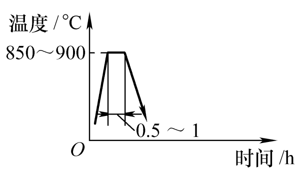
水玻璃低强度型壳比其他高强度型壳焙烧温度低 100 ~200℃。焙烧加温时可以每升温 200℃，保温一段时间再升温，即阶梯升温法焙烧。

在型壳周围填充干硅砂的铸型，在高温焙烧后来不及浇注，允许在 5 天之内再焙烧一次，但不能焙烧第三次。

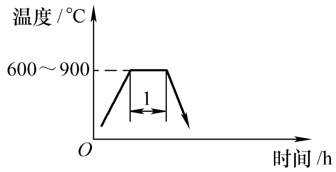
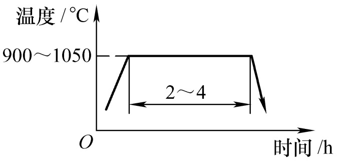
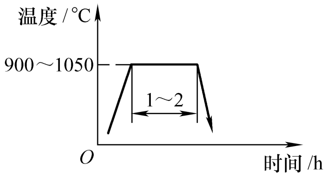
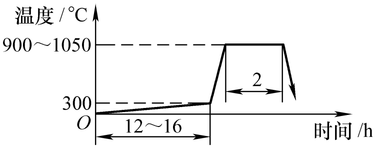
对于湿填充料的铸型，只能高温焙烧一次。

4. 各种型壳的焙烧工艺曲线（见表 9-108）

表 9-108　型壳的焙烧工艺曲线

型　　壳	焙烧类型	焙烧工艺曲线	说　　明
水玻璃粘结剂型壳	低温焙烧		低温焙烧后，可存放一周，再高温焙烧
	干填料高温焙烧		浇注前焙烧
	单壳高温焙烧		浇注前焙烧

（续）

型　　壳	焙烧类型	焙烧工艺曲线	说　　明
硅酸乙酯和 硅溶胶型壳	预焙烧		预焙烧后、型壳进行摇壳、洗壳和检查裂纹
	干填料造 型焙烧		浇注前焙烧
	单壳 高温焙烧		浇注前焙烧
硅酸乙酯湿法 填料铸型	脱蜡和 高温焙烧		脱蜡和高温焙烧

9.5.4　摇壳与洗壳、裂纹检查与修补

对要求高的型壳，在预焙烧后，需要进行摇壳、洗壳和检查裂纹。对不影响质量的型壳，允许进行修补。

1. 摇壳与洗壳操作

（1）摇壳的操作要点

1）将型壳浇口杯朝下，清理毛刺和浮砂，并用≤0.2MPa 的压缩空气吹型腔。

2）用吸尘器吸出型壳内的杂物。

3）用粘有凡士林的牛皮纸封住浇口杯，手持型壳左右摇动和上下翻转，使型壳内表面松散的片屑掉落。

4）揭下牛皮纸，检查纸上有无碎屑。

5）重复工序 3），直到纸片上无碎屑为止。

（2）洗壳的操作要点

1）清洗液可任选下列的一种：①600mL 乙醇 + 1mL 亚甲基蓝饱和溶液；②200mL 乙醇 +400mL 水解硅酸乙酯水解液 +1mL 亚甲基蓝饱和溶液；③自来水，加或不加亚甲基蓝饱和溶液。

2）手工洗壳——将清洗液注满型腔，轻轻摇动，然后将清洗液倒在有 0.05mm 孔径筛网的容器内，检查筛网，如有洗壳碎片，则重复清洗。

3）循环清洗液洗壳——使用乙醇或自来水清洗，将型壳浇口杯朝下固定在支架上，支架可使型壳缓慢摇动，同时，通过喷嘴将清洗液喷到型壳内约 30s，关闭阀门，检查循环清洗液过滤细网上的碎屑。

4）清洗后型壳的干燥：①用乙醇洗壳后，浇口杯朝下，干燥≥1h；②用硅酸乙酯液洗壳后，干燥≥12h；③用自来水洗壳后，干燥≥24h。

2. 裂纹检查与修补

（1）检查裂纹的方法

1）检查液用“亚甲基蓝饱和液 1 份 + 乙醇 5 份”，或用有亚甲基蓝饱和液的洗壳液。

2）从浇口杯注入亚甲基蓝检查液，并在型壳中保持 3min。

3）倒出检查液检查裂纹，在有检查液渗透的地方做出标记，细小的裂纹可进行修补。

（2）修补裂纹的方法

1）修补细小裂纹：①将铝酸钙加入少量水，调成可涂刷的膏状；在型壳裂纹处用上述浆料涂刷，覆盖面每边应超过裂纹大约 15mm；②如果需要，在自干 12h 后，再涂刷第二次；③自然干燥 12h。

2）修补鼓起的面层涂料：①小刀剔除鼓起的面层涂料，清除散落物；②用少量的水稀释硅溶胶面层涂料，使其成为可涂刷的浆料；③用浆料刷涂于破损区域，自然干燥≥3h。

9.6　型芯

熔模铸件的内腔是由型芯形成的。用于熔模铸件的型芯有五种，它们的特点和应用范围见表 9-109。

表 9-109　熔模铸件内腔的形成方法

序号	型芯种类	工艺方法	特　点	应　　用
1	金属型芯	将形成复杂内腔的芯块，分成若干可拆式嵌块，以利于分开出模	模具制造较复杂，工艺简单	用于结构不复杂的熔模铸件
2	组合熔模	熔模分块制造，然后焊接成整体熔模	制作工艺简单	用于结构复杂而精度要求不高的较大型的熔模铸件

（续）

序号	型芯种类	工艺方法	特　点	应　　用
3	可溶性型芯	用可溶于水或酸化水的材料预先制成型芯，在压制熔模前放入压型内，压制熔模后放入水中将型芯溶失，即得具有复杂内腔的熔模	制作简单	用于结构较复杂，精度要求较高，上两种方法不能满足要求，难以机械加工，型腔较大的熔模铸件
4	陶瓷型芯	用耐火材料制作的陶瓷型芯，在制模前放入压型型腔内，制模后，露出定位芯头。然后制壳，脱出熔模，陶瓷型芯留在型壳内，浇注金属液后，陶瓷型芯直接形成铸件内腔	工艺复杂，成本较高	用于精度要求高，且难以机械加工的耐热、耐蚀、耐磨合金的复杂异形孔铸件
5	石英玻璃管型芯	采用预置的玻璃管，其工艺方法同4	工艺复杂，成本较高	用于精度要求高，难以机械加工的具有深长小孔径型腔的铸件

注：表中1、2、3三种方法形成熔模的内孔，用涂料或注浆法形成型芯。

生产中应用较广泛的主要是金属型芯、陶瓷型芯、可溶性型芯。本手册着重介绍陶瓷型芯的原材料、制芯工艺、质量检验，以及水溶性型芯（水溶性石膏型芯和水溶性陶瓷型芯）的配比及制芯工艺。

9.6.1 陶瓷型芯

陶瓷型芯是由“耐火材料、矿化剂、增塑剂”混合后，在专用的压力机上压制成型，并经高温焙烧而成的。

1. 原材料

（1）陶瓷型芯的耐火材料（见表9-110）

表9-110　陶瓷型芯的耐火材料

序号	耐火材料	熔点/℃	预处理工艺	脱芯方法
1	石英玻璃	1713（软化点≈1370）	1）购进的石英玻璃用质量分数为10%～20%的碱水洗涤，再用自来水冲洗至中性 2）将石英玻璃破碎成10mm块状，装入带磨球的球磨罐内，球磨30～40h 3）过孔径为0.05mm（260筛号）筛，烘干待用	用氢氧化钾或氢氧化钠水溶液，加压可提高去除速度
2	电熔刚玉	2050	按GB/T 2479—1996要求选择粒度120#～320#，使用前烘干	机械或化学方法均可，如采用氢氟酸、氟盐等可去除

（续）

序号	耐火材料	熔点/℃	预处理工艺	脱芯方法
3	氧化镁	2800	1300～1600℃煅烧6～10h，破碎后，过孔径为0.075～0.05mm筛，烘干备用	机械或化学方法均可
4	锆石粉	1775	符合HB5349—1986的一、二级，经1500℃以上温度煅烧2～4h，破碎，并过孔径为0.05mm筛，烘干使用	用氢氧化钾或氢氧化钠水溶液，加压可提高去除速度
5	碳化硅	（软化点1750～1850）	烘干球磨，过筛后，不同粒度搭配使用	用氟盐、氢氟酸或强碱高压去除

注：陶瓷型芯基体材料具备熔点高、良好的化学稳定性、热稳定性和抗激冷激热性、与合金和型壳相匹配的线胀特性，以及容易从铸件中清除等特性。

（2）陶瓷型芯的矿化剂（见表9-111）

表9-111　矿化剂的成分及处理工艺

序号	矿化剂	成分（质量分数,%）或标准	处理工艺
1	Al_2O_3-CaO-SiO_2（简称A.C.S）	Al_2O_3：14.7　CaO：23.24 SiO_2：62.06　熔点：1170℃	把硅石粉、碳酸钙、工业氧化铝装入带磨球的球磨罐中，混磨24h，经1100℃焙烧，冷却破碎，过孔径为0.05mm的筛后使用
2	锆石粉	HB5349—1986	经1560℃焙烧2h、冷却、破碎、过孔径为0.05mm筛后使用
3	铝-硅系矾土（下称矾土）	SiO_2：30～32，Al_2O_3：62～64 Fe_2O_3 < 1.5，CaO < 1.0，MgO < 1.0 Na_2O < 0.5，K_2O < 0.5	经1350℃焙烧、冷却、破碎后过孔径为0.05mm筛后使用
4	氧化钙	CaO：100	碳酸钙经900～1000℃焙烧，分解成氧化钙后使用
5	工业氧化铝	YS/T274—1994	经1300℃焙烧4～6h、冷却、过孔径为0.05mm筛后使用

注：矿化剂的作用是促进型芯的焙烧，降低烧结温度，缩短焙烧时间。

（3）耐火材料与矿化剂的匹配　根据耐火材料和使用条件不同选用不同的矿化剂。与耐火材料对应的矿化剂见表9-112。

表9-112　与耐火材料对应的矿化剂

陶瓷型芯耐火材料	矿化剂			烧成温度/℃
	序号	种类	用量（质量分数,%）	
石英玻璃粉	1	工业氧化铝	5～15	1150～1200
	2	铝矾土或莫来石	5～15	1150～1200
	3	A.C.S	5	1150～1200
	4	锆石粉	15～30	1150～1200

（续）

陶瓷型芯耐火材料	矿　化　剂			烧成温度/℃
	序号	种类	用量（质量分数,%）	
氧化镁	工业氧化铝		8～12	1180～1300
电熔刚玉	1	A. C. S	5	1250～1400
	2	铝矾土	3～5	1250～1400
	3	TiO_2	0.5～2.0	1250～1400
碳化硅	工业氧化铝		10	1300

（4）增塑剂与表面活性剂　热压注法常用的增塑剂配方见表9-113。

表9-113　热压注法常用的增塑剂配方（质量分数）　（%）

序号	石蜡	蜂蜡	聚乙烯	序号	石蜡	蜂蜡	硬脂酸	松香
1	95	5	—	5	60	35	5	—
2	93	5	2	6	30	10	—	60
3	47	50	3	7	48	7	7	38
4	50	50	—	—	—	—	—	—

表面活性剂的作用是在陶瓷粉料表面形成薄膜，增加颗粒表面的滑动性，减少增塑剂的用量。表面活性剂主要有油酸、脂肪醇类物质。一般用量为粉料重量的0.5%～1.0%。

2. 热压注法制造陶瓷芯

热压注法制芯是用耐火粉料和有机增塑剂混合加热成流态浆料，在1～4MPa压力下压入型芯模内，凝固后出模，修理飞边，然后置于填料中加热脱蜡和焙烧，冷却后出炉，浸强化剂，检验待用。工艺流程如图9-17所示。

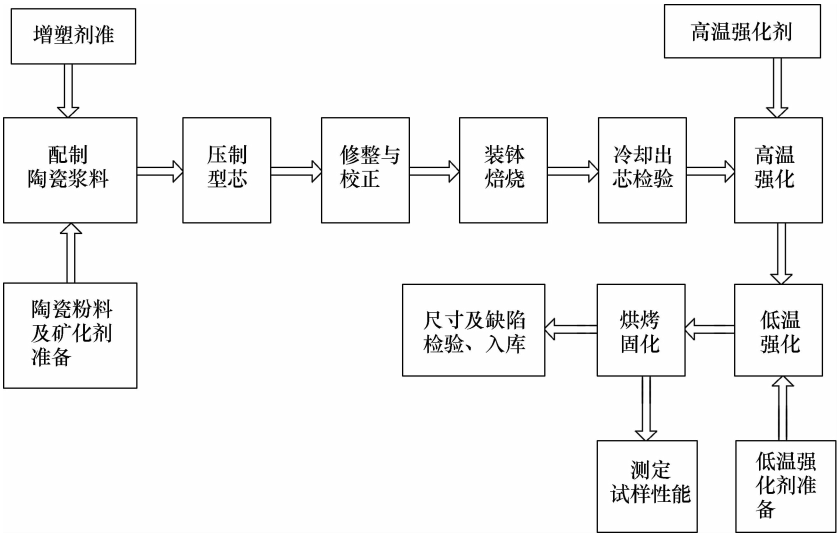


图9-17　热压注法制造陶瓷型芯的工艺程序

（1）陶瓷浆料的配方和制浆工艺（见表9-114）

表9-114　陶瓷浆料的配方和制浆工艺

<table>
<tr><td rowspan="3">序　号</td><td colspan="6">浆料配方（质量分数,%）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">石英玻璃</td><td rowspan="2">刚玉</td><td rowspan="2">氧化镁</td><td colspan="2">矿化剂</td><td rowspan="2">增塑剂</td></tr>
<tr><td>品种</td><td>加入量</td></tr>
<tr><td>1</td><td>70</td><td>—</td><td>—</td><td>锆英粉</td><td>30</td><td>17～20</td></tr>
<tr><td>2</td><td>85～95</td><td>—</td><td>—</td><td>氧化铝</td><td>5～15</td><td>17～20</td></tr>
<tr><td>3</td><td>95</td><td>—</td><td>—</td><td>A·C·S</td><td>5</td><td>17～20</td></tr>
<tr><td>4</td><td>—</td><td>—</td><td>80～90</td><td>氧化铝</td><td>10～20</td><td>17～20</td></tr>
<tr><td>5</td><td>—</td><td>95</td><td>—</td><td>A·C·S</td><td>5</td><td>13～16</td></tr>
<tr><td>制浆工艺</td><td colspan="6">1）将装有粉料和矿化剂的球磨罐置于球磨机内，混磨>2h，取出烘干，使水的质量分数<0.2%～0.3%
2）将增塑剂加入带搅拌器的不锈钢容器内，加热至85～90℃，并在搅拌情况下加入填料和质量分数为0.5%～1.0%的油酸，继续搅拌均匀后，即可用于制芯，或浇成锭块待用</td></tr>
</table>

（2）陶瓷型芯的压制工艺参数　陶瓷型芯的压制工艺要点是：先预热压型并涂上分型剂，然后，将控制好温度的陶瓷浆料用气动或液压机压制成型，压制好的型芯应经修整、校正和检验。陶瓷型芯的压制工艺参数见表9-115。

表9-115　陶瓷型芯的压制工艺参数

结构	浆料温度/℃	压型温度/℃	压注压力/MPa	保压时间/s	分型剂	校正	环境温度/℃
简单	80～100	20～35	0.5～2.0	10～20	蓖麻油	—	20～25
复杂	100～120	30～50	1.0～3.0	10～30	硅油	出型后放入胎膜或校正模中冷却	20～25

（3）陶瓷型芯的焙烧及后处理

1）焙烧前的准备：①合格的湿态陶瓷型芯；②粉状填料——工业氧化铝（$\alpha-Al_2O_3$），过0.075mm筛；③耐火匣钵；④震实台（振幅<0.5mm）。

2）造型操作

①吃砂量：在匣钵内放置湿态陶瓷型芯时，型芯与钵底、钵壁之间的距离≥25mm，型芯与型芯之间的距离≥15mm，每两层型芯之间的距离≥20mm。

②造型操作：在耐火匣钵中装入25～40mm厚的粉状填料，然后放入湿态陶瓷型芯，将填料均匀地填入匣钵中。在震实台上振动3～5min。重复上述程序，一层一层地安置，直至装满，并在最上层覆盖约20mm厚的填料。

3）焙烧规范：在型芯焙烧操作中，应保证炉内有足够的氧化气氛，使型芯中不残留有碳；匣钵出炉后，必须冷至150℃以下，才能从匣钵中取出型芯。

①石英玻璃型芯的焙烧规范如图9-18所示。

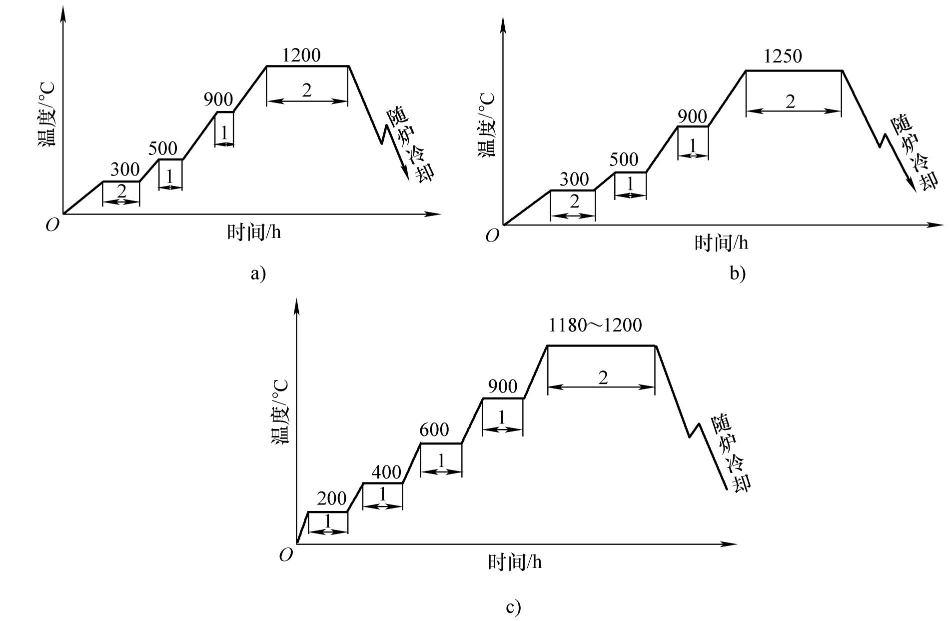


图9-18 石英玻璃型芯的焙烧规范

a)（石英玻璃+莫来石-硅线石）型芯焙烧规范 b)（石英玻璃+工业氧化铝）型芯焙烧规范

c)（石英玻璃+锆石粉）型芯焙烧规范

②刚玉基型芯的焙烧规范如图9-19所示。

③氧化镁型芯的焙烧规范如图9-20所示。

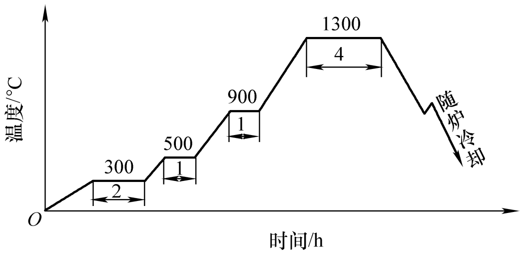


图9-19 ［刚玉+A. C. S］型芯的焙烧规范

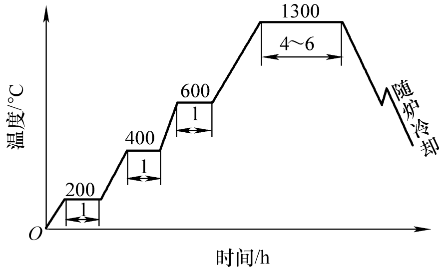


图9-20 氧化镁型芯的焙烧规范

4）陶瓷型芯焙烧后的高温强化和低温强化处理工艺见表9-116、表9-117。

表9-116 高温强化处理工艺

目 的	处 理 工 艺
提高焙烧后陶瓷型芯的高温强度和抗变形能力	将型芯浸入含有 $w(SiO_2)$ =20%～24%的硅酸乙酯水解液中，或硅溶胶中，待气泡消除取出，自然干燥2～5h，氨气硬化30min

表 9-117　低温强化剂的配方及低温强化工艺

序号	低温强化剂的配方								低温强化工艺
	酚醛树脂/g	酚醛醇溶清漆/g	乙醇/mL	六次甲基四胺/g	6010 环氧树脂/g	丙酮/mL	多乙烯多胺/mL	聚酰胺/g	
1	32	—	65	3	—	—	—	—	浸渍 10 ~ 15min，自干 4 ~ 6h，120 ~ 180℃ 烘干 30min
2	—	53	43	4	—	—	—	—	
3	—	—	—	—	100	100	10	—	浸渍 10 ~ 15min，自干 24h，150℃ 烘干 30min
4	—	—	—	—	45 ~ 65	100	—	—	
5	—	—	—	—	50 ~ 60	100	—	40 ~ 50	

注：低温处理的目的：提高焙烧后陶瓷型芯的室温抗弯强度（提高 3 ~ 5 倍）和韧性，以防型芯在修整、搬运、制模时被损坏。

3. 注浆法制造陶瓷芯

注浆法是以硅酸乙酯水解液为粘结剂，并与耐火材料配成浆料。然后加入促凝剂混合均匀，把浆料注入型芯模内硬化成型。注浆法工艺流程如图 9-21 所示。

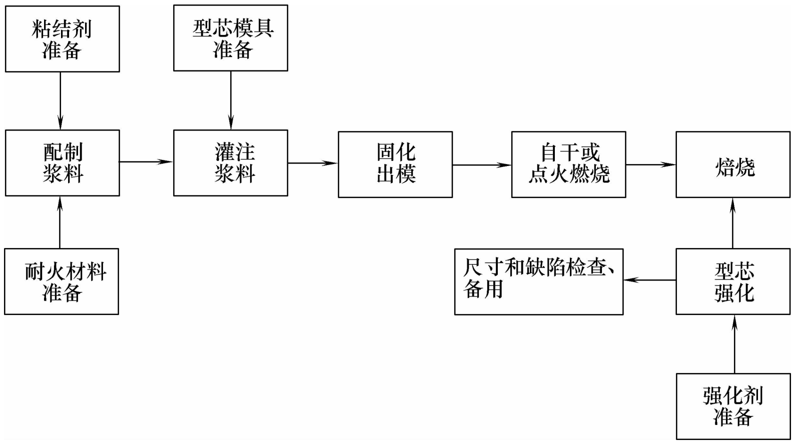


图 9-21　注浆法制造陶瓷型芯的工艺流程

（1）陶瓷浆料的配比（见表 9-118）

表 9-118　陶瓷浆料的配比

耐火材料/kg				固化剂/kg			矿化剂/kg		粘结剂/L
锆石粉	石英玻璃	刚玉	莫来石	醋酸胺	氢氧化钙	氧化镁	铝酸钙	长石粉	硅酸乙酯水解液 $w(SiO_2)$ =20% ~25%
15 ~ 35	60 ~ 80	—	—	0.3 ~ 0.45	—	—	3 ~ 7	—	≈30
60 ~ 80	20 ~ 40	—	—	0.2 ~ 0.3	0.2	—	6 ~ 10	—	≈30

（续）

耐火材料/kg				固化剂/kg			矿化剂/kg		粘结剂/L
锆石粉	石英玻璃	刚玉	莫来石	醋酸胺	氢氧化钙	氧化镁	铝酸钙	长石粉	硅酸乙酯水解液 $w(SiO_2)=20\%\sim25\%$
—	85 ~ 95	5 ~ 15	—	0.3 ~ 0.45	—	—	—	—	35 ~ 40
—	—	80 ~ 90	10 ~ 20	—	—	1 ~ 2	—	3	≈40
24 ~ 40	—	—	8 ~ 16	促凝剂：20 ~ 40mL 的 5% 碳酸铵水溶液（质量分数）；或 10 ~ 25mL 的三乙醇胺/乙醇 = 1/1（体积分数）					≈10

（2）注浆法制芯的工艺流程（见图 9-22）

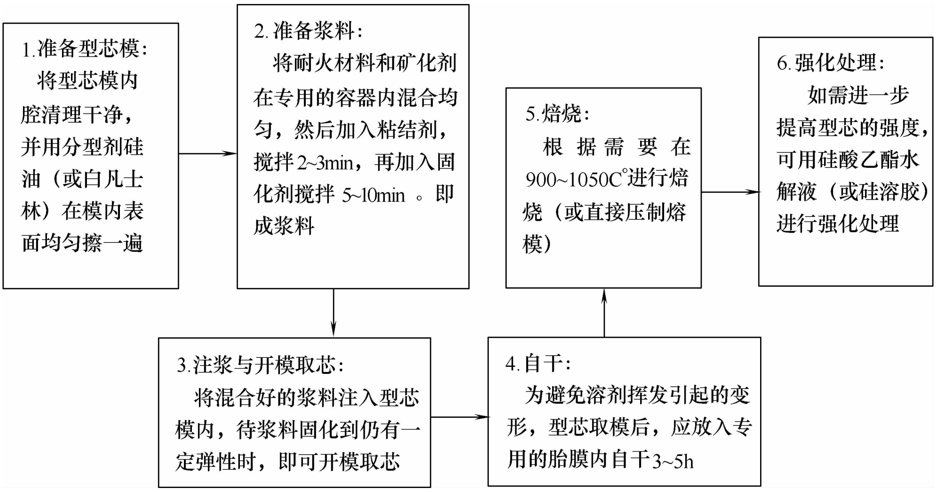


图 9-22　注浆法制造陶瓷型芯的工艺流程

4. 陶瓷型芯的质量检验

陶瓷型芯的质量检验项目、方法及工具、检验内容见表 9-119。

表 9-119　陶瓷型芯的质量检验

序号	检验项目	检验方法及工具	检验内容
1	外观检验	1）目视、用 5 ~ 10 倍的放大镜 2）着色	表面缺陷，如破损、裂纹、缩陷、凹坑、金属夹杂物、标志等
2	几何尺寸	1）样板 2）非接触式光学投影仪 3）测具 4）长度测量用工具	线性和非线性尺寸（凡图样标注尺寸均属检查范围）
3	内部质量	X 光透视	内部裂纹、孔洞、金属夹杂物等

（续）

序号	检验项目	检验方法及工具	检验内容
4	力学物理性能	1）高温和室温抗弯强度仪 2）温变形仪 3）高温线膨胀仪 4）透气性测量仪 5）偏光显微镜	高温、低温抗弯强度、高温变形度、气孔率、烧成收缩率、岩相分析等

5. 陶瓷型芯的脱芯方法

非水溶性的陶瓷型芯，采用化学腐蚀方法脱出型芯。由于脱芯介质一般都具有较强的腐蚀性和一定的毒性，因此必须采取相应的防护措施。陶瓷型芯的脱芯方法见表9-120。

表 9-120　陶瓷型芯的脱芯方法

序号	清芯方法	脱芯介质成分（质量分数,%）	介质		特点及应用	冲洗与中和操作
			温度/℃	压力/MPa		
1	熔融碱法	氢氧化钠 35 氢氧化钾 65	400～500	大气	腐蚀性大，脱芯速度快 多用于小批生产	1）从脱芯介质中出来的铸件，先在热水中冲洗，后在冷水中清洗 2）用稀盐酸溶液中和 3）最后，在冷水中冲洗，直到用酚酞溶液滴入检测为中性
2	碱溶液	氢氧化钠 30%～40%水溶液（或氢氧化钾 60%～70%水溶液）	沸腾	大气	腐蚀性较小，脱芯速度慢	
3	压力脱芯法	氢氧化钠 30%～40%水溶液（或氢氧化钾 60%～70%水溶液）	200～400	0.4～3.0	腐蚀性较小，脱芯速度快 适于大批量生产	
4	氟离子脱芯法	氢氟酸（或氟盐）	氢氟酸：室温（氟盐：200～400）	大气	腐蚀性与毒性较大，主体设备简单，但必须配置防护设备 尤其适用于石英玻璃管型芯、氧化铝基陶瓷型芯的脱芯	1）用氢氟酸脱芯的铸件，直接用冷水冲洗2～3次后，进行中和 2）用氟盐脱芯的铸件，从脱芯介质出来后，先用热水冲洗，后用冷水冲洗 3）采用质量分数为30%碱溶液进行中和 4）最后在冷水中冲洗，直到用酚酞溶液滴入检测为中性

6. 陶瓷型芯的缺陷、原因分析及解决方案（见表 9-121）

表 9-121　陶瓷型芯的缺陷、原因分析及解决方案

序号	缺陷类型	原因分析	解决方案
1	冷隔	1）注射压力小，压射速度慢 2）粉料相、浆料稠 3）压型温度低 4）注入口小 5）压型排气不畅	1）增加压注压力和压射速度 2）提高料浆温度，调整增塑剂用量，重新配制新料 3）提高压型温度 4）扩大注入口 5）增加或扩大排气孔、清洁压型
2	凹陷	1）压注压力小，保压时间不够 2）浆料混和不均，出现局部增塑剂偏析 3）浆料中增塑剂过多，料温太高 4）型芯厚薄悬殊	1）增加压力，延长保压时间 2）延长混料时间 3）减少增塑剂，降低料浆温度 4）改变零件设计在厚大部分加入冷芯块或做成空心
3	裂纹	1）压型温度低，保压时间长 2）取芯机构不合理，取模斜度不够 3）填料预处理未达到要求 4）填料震得过实 5）装钵时型芯间间距太小 6）排蜡期升温过快 7）烧结期超温 8）出炉或出芯温度过高	1）提高压型温度，减少保压时间 2）改进设计增大取模斜度 3）对填料充分预处理 4）减少振幅和振动时间 5）根据型芯大小控制装钵时型芯间间距 6）减慢升温速度 7）检查蜡烧炉 8）控制出炉和取芯温度
4	龟裂	1）粉料粒度太细 2）烧结期超温 3）填料未经处理或处理不好	1）控制粉料粒度 2）检查蜡烧炉 3）对新填料要充分预处理
5	飞翅（增厚）	1）浆料温度高 2）合型压力小 3）压型分型面有杂 4）压注压力大	1）降低料温 2）增大合型力 3）清洁压型 4）减小压注压力
6	型芯线型尺寸过大	1）保压时间长 2）浆料温度低 3）不正确收缩因素 4）填料过实 5）烧结时间短	1）减少保压时间 2）提高料浆温度 3）检查压型尺寸 4）减小振幅或振动时间 5）严格执行焙烧规范
7	型芯线型尺寸过小	1）保压时间短 2）浆料温度高 3）不正确的收缩因素 4）填料过松 5）烧结时间过长 6）烧结期超温	1）延长保压时间 2）降低料浆温度 3）检查模具尺寸 4）增加振幅或振动时间 5）缩短烧结时间 6）检查蜡烧炉

（续）

序号	缺陷类型	原因分析	解决方案
8	变形	1）起模过早，起模用力不均匀 2）取模后放置不当 3）起模装置设计不合理 4）零件设计不合理 5）填料紧实不均 6）装钵时放置位置不合适 7）超温	1）延长起模时间，用力要均匀 2）选择合适放置位置，或采用胎模 3）改进起模结构 4）改进零件设计 5）调整震动台 6）改变放置位置 7）检查蜡烧炉
9	力学性能不稳定	1）粒度未控制 2）浆料混合不均匀 3）注射压力不稳定 4）蜡烧温度过高或过低 5）烧结时间过长或过短 6）炉温不稳定 7）强化剂使用过久、变质或浓度大	1）严格控制粒度 2）延长混料时间 3）检查压注设备 4）控制烧结温度 5）控制烧结时间 6）检查蜡烧炉 7）控制强化剂的使用次数和浓度
10	气孔或鼓泡	1）料浆中混入气体 2）压注速度太快 3）排蜡期升温过快 4）压型排气不好	1）真空除气或振动排气 2）减慢压注速度 3）放慢升温速度 4）改善压型排气

9.6.2 水溶性型芯

水溶性型芯的主要特点是便于脱芯。水溶性型芯有两种：水溶石膏型芯、水溶陶瓷型芯。

1. 水溶石膏型芯

（1）应用范围　水溶性石膏型芯的使用极限温度为900℃左右，故适用于浇注温度低于900℃的铝、锌等合金。

（2）水溶石膏型芯浆料的配比（见表9-122）

表9-122　水溶石膏型芯浆料的配比　　（单位：g）

序号	石膏	固体填料		水溶性盐	水
		硅石粉（200～270筛号）	滑石粉	硫酸镁	
1	60～85（β半水石膏）	10～30	5～10	16～25	50～80
2	（以α半水石膏为主的模型石膏）70			30	35
3	（以α半水石膏为主的模型石膏）80			20	30

（3）灌浆法制芯　型芯硬化后，从芯盒中取出，在 300℃下烘干 2～3h。如果发现型芯表面有茸毛状析出物，可将型芯从芯盒中取出，在 80～100℃下烘干 0.5～1.0h，再在 300℃下烘干 2～3h。

为使型芯能经受脱蜡时水溶液或水蒸气的浸蚀，型芯干燥硬化后，应采用浸渗或刷涂方法，在型芯表面形成一层防水膜。防水膜的材料组成与陶瓷型芯低温强化剂相同，防水膜自然风干，或在 100℃下烘干后待用。

2. 水溶陶瓷型芯

水溶性陶瓷型芯是以水溶性盐为粘结剂，以耐火粉料为基体，再加入增塑剂配制成可塑性的混合料，经过捣实、挤压（或压注）成湿态坯体，最后经过烘干、焙烧成具有使用性能的型芯。

（1）应用范围　水溶性陶瓷型芯适用于浇注铝合金、铜合金、铁合金、钢及高温合金等几乎所有的合金。使用温度根据粘结剂与耐火骨料的不同，从 700℃到 1600℃。

（2）水溶性陶瓷型芯浆料的配比（见表 9-123）

表 9-123　不同成型工艺下的水溶性陶瓷型芯浆料的配比　（单位：g）

成型方法	耐火骨料	水溶性盐		水（外加）
	120 号筛电熔刚玉	品名	加入量	
捣实成型	92	碳酸钾	8	6.4
	90	磷酸钾	10	12
	90	磷酸钠 铝酸钠	8 2	8
	91	氢氧化钡 多元醇	7.5 1.5	8
	92	氢氧化钡 铝酸钾	7 1	8
压注成型	7～14	食盐 粗制聚乙二醇	60～70 24～28	—
灌浆成型	90	磷酸钠	10	40
	80	氢氧化钡	20	50

（3）制芯工艺（见表 9-124）

表 9-124　水溶性陶瓷型芯的制芯工艺

成型方法	压力/MPa	湿态成形的坯体烘干工艺	烘干后的型芯烧结工艺	烧结好的型芯涂刷防水膜
压注成型	1.0～3.5（压注压力）	（200～250℃）×（0.5～2.0）h	（700～900℃）×（0.5～2.0）h	防水膜的组成和涂刷工艺见表 9-117
挤压成型	15～30（挤压压力）			

3. 水溶性型芯的使用特点

1）熔化容器宜用不锈钢或搪瓷制造。

2）熔化温度不能过高，否则制造的型芯气泡很多、性能下降。浇注熔盐材料时，要先快后慢不断流。

3）制造好的型芯应放在干燥容器内，避免潮解。

4）含水溶性盐质量分数较大的型芯，在损坏或有缺陷时，可以热补。

5）较大型芯可放置芯骨，起芯斜度要大，一般起芯斜度为0.5°~3°，定位芯头斜度为3°~5°。必要时，设顶杆取芯。

4. 水溶性型芯的脱芯方法

水溶性型芯的脱芯方法简便快捷，使用的介质为水（流动的水，或沸腾的水）。脱芯后，须将铸件冲洗干净，以防止残留的盐产生电化学腐蚀。

9.7　感应电炉熔炼

9.7.1　炉料准备及配料计算

1. 炉料准备

（1）炉料的要求　炉料要干净干燥，无易爆等杂物，大小块度要适当搭配，以便于快速熔化。用酸性渣料时，炉料中P、S的质量分数应低于熔炼钢种成分要求的0.005%~0.01%。

（2）熔剂及脱氧剂

1）酸性炉衬用酸性熔剂的配比见表9-125。

表9-125　碱性炉衬用酸性熔剂的配比（质量分数）　　（%）

序号	酸性熔剂组成				适用钢种
	硅砂	碎玻璃	石灰	氟石	
1	80	20	—	—	碳钢、低铬钢、锰钢及高硅钢等
2	65	—	25	10	
3	40	30	30	—	
4	—	100	—	—	

2）碱性炉衬用碱性熔剂的配比见表9-126。

表9-126　碱性炉衬用碱性熔剂的配比（质量分数）　　（%）

序号	碱性熔剂组成							适用钢种
	石灰	镁砂	工业氧化镁	氧化铝	氟石	铝粉	碎烧土	
1	80	—	10	—	10	—	—	结构钢、不锈钢等
2	80	—	—	—	10	10	—	
3	65	—	5	—	10	—	20	
4	80	10	—	—	10	—	—	
5	35	15	—	35	15	—		

（续）

序号	碱性熔剂组成							适用钢种
	石灰	镁砂	工业氧化镁	氧化铝	氟石	铝粉	碎烧土	
6	50	—	18	25	7	—	—	耐热钢、镍基耐热合金钢
7	45.5	—	16.5	13.5	6.5	18	—	
8	50	—	22.5	25	2.5	—	—	

3）脱氧剂见表9-127。

表9-127　脱氧剂及其用量

脱氧剂	锰铁	硅铁	硅钙粉	铝
用量（占钢液重量的百分数,%）	0.10～0.20	0.05～0.07	0.2～0.3	0.04～0.06

（3）合金元素的烧损率　感应炉熔炼元素的烧损率见表9-128。

表9-128　感应炉熔炼碳钢和合金钢的元素烧损率（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	Cr	Ti	Al	W	V	Mo	Ni
酸性炉	5～10	0～10	30～50	5～10	40～60	30～50	3～5	5～50	5～20	0
碱性炉	5～10	30～40	20～30	5～10	40～60	30～50	3～5	5～50	5～20	0

注：在酸性炉中熔炼，硅量有时不但不烧损，反而有所增加。

2. 配料计算

（1）配料计算方法

1）确定合金的控制成分，计算炉料中各元素的质量分数（包括烧损量）：

$$K_{炉料}=\frac{K_{控制}}{1-S} \tag{9-10}$$

式中　$K_{炉料}$——炉料中某元素的质量分数（%）；

$K_{控制}$——钢液中某元素的控制成分（质量分数）（%）；

S——某元素在熔炼中的烧损率（%）。

2）根据炉料总重量，计算出每个元素应有的质量分数。

3）计算出回炉料中各元素的重量。

4）计算出新炉料中各元素的重量。

5）将炉料总重量中各元素的重量减去新、旧料中各元素的重量，即为各元素的不足量。不足的元素可用铁合金补充。

6）将计算的结果相加，并核对是否符合配料成分要求。

（2）配料计算案例（见表9-129）

表 9-129　ZG35CrMnSi 钢配料计算单

原材料		元素	C	Si	Mn	Cr
		规格成分（质量分数,%）	0.3～0.4	0.6～0.9	0.9～1.2	0.7～1.0
种类	重量/kg	配料成分（质量分数,%）	0.39	1.1	1.4	0.9
		60kg 需要量/kg	0.234	0.66	0.84	0.54
35CrMnSi（旧料）	30	—	0.117（kg）/0.0039（%）	0.228（kg）/0.0076（%）	0.3（kg）/0.01（%）	0.267（kg）/0.0089（%）
35CrMnSi（新料）	29	—	0.087（kg）/0.003（%）	0.284（kg）/0.0098（%）	0.29（kg）/0.01（%）	0.287（kg）/0.0099（%）
硅铁	0.188	—	—	0.148（kg）/0.786（%）	—	—
锰铁	0.308	—	—	—	0.25（kg）/0.81（%）	—
石墨电极	0.03	—	0.03	—	—	—
总重	59.5	—	0.234	0.66	0.84	0.554

注：1. 配料成分已考虑元素的烧损量。
2. 在表内的分式中，分母是原材料中元素的质量分数，分子是配入重量中某元素的重量（kg）。

9.7.2　坩埚制备

1. 炉（包）衬、炉领材料配比

（1）酸性炉（包）衬、炉领材料配比（见表 9-130、表 9-131）

表 9-130　酸性炉（包）衬材料配比

编号	硅砂（粉）（筛号）（质量分数,%）									w(硼酸)(%)(外加)	水	坩埚容量/kg
	4/6	6/10	10/20	20/40	30/50	50/100	40/70	70/140	200/270			
1				15		25		30	30	1.5	适量	20
2		50						50		2.0	适量	50
3			30				50		20	1.5	适量	50
4			30		50				20	1.5	适量	50
5	50			20			15		15	1.5～2.0	适量	150
6	50							50		1.5～2.0	适量	150
7		30		50			10		10	2	适量	500
8	25	20		30					25	1.5～2.0	适量	500

表 9-131 酸性炉炉领材料配比（质量分数） （%）

编号	硅砂（粉）/mm				水玻璃（外加）	耐火粘土（外加）	水	酸性旧炉衬粉料（≤5mm）
	1~2	0.2~0.5	<0.1	<200（筛号）				
1	30	50	—	20	10	—	适量	—
2	30	50	—	20	—	—	适量	—
3	—	—	—	—	—	15~30	适量	70~85
4	—	80	20	—	5	20	适量	—
5	30	40	20	10	10	—	适量	—

（2）碱性炉（包）衬、炉领材料配比（见表 9-132、表 9-133）

表 9-132 碱性炉（包）衬材料配比（质量分数） （%）

编号	冶金镁砂/mm			电熔镁砂/mm			电熔刚玉（200~270 筛号）	硼酸（外加）	水
	4~2	<2~1	<1.0	4~2	<2~1	<1.0			
1	25	45	30	—	—	—	—	1.5~1.8	适量
2	—	—	—	20	50	30	—	1.5~2.0	适量
3	—	—	—	15	30	50	5	1.5~1.8	适量
4	50	20	30	—	—	—	—	1.5~1.8	适量
5	25	55	20	—	—	—	—	1.5~1.8	适量

表 9-133 碱性炉炉领材料配比（质量分数） （%）

编号	冶金镁砂			镁砖或铬镁砖碎块<4mm	碱性旧炉衬材料	耐火粘土	水玻璃（外加）	水
	<4	2~1	<1.0					
1	—	40	40	—	—	20	—	适量
2	—	—	—	20	50	30	—	适量
3	20~35	—	—	—	50	15~30	5~8	适量

2. 感应器保护材料配比（见表 9-134）

表 9-134 感应器保护材料配比（质量分数） （%）

编号	硅石粉（270 筛号）	石棉粉	耐火粘土	矾土水泥（400#~500#）	水
1	50	30	20	—	适量
2	80	—	—	20	适量
3	—	—	80	20	适量

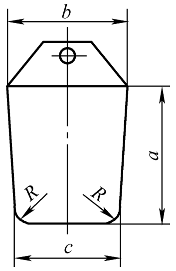
3. 筑炉材料的处理（见表9-135）

表9-135　筑炉材料的处理

序号	材料名称	处理方法
1	硅砂	清洗、干燥、人工磁选取除铁杂质
2	镁砂	经800～850℃焙烧2～3h，冷却后用3～5mm筛过筛，人工磁选后封存
3	镁砖或铬镁砖	经人工或机器破碎，用3～5mm筛过筛封存
4	耐火粘土	经150～250℃烘干，冷却后用100～140筛号过筛、封存
5	硼酸	工业用Ⅰ级或Ⅱ级，白色粉末，经100号筛过筛、封存
6	硅酸钠	含 $w(SiO_2)=32\%\sim34.5\%$，$w(Na_2O)=11\%\sim13.5\%$，加水稀释
7	碎烧土	粒度≤1mm，或经50～70筛号过筛
8	石棉布	绝缘度≥120MΩ，厚度<1mm，应柔软
9	石棉板	厚度3～5mm，软质的

4. 打结坩埚用模样尺寸（见表9-136）

表9-136　坩埚模样尺寸　　（单位：mm）

坩埚模样容量/kg	*a*	*b*	*c*	*R*	简　图	模样种类
20	260	140	120	5		1）钢模-用钢板焊成，或铸钢（铁）铸成 2）石墨模-用石墨电极加工成
60	350	160	140	15		
150	520	275	225	25		
250	570	325	260	35		
500	650	410	360	35		

5. 筑炉操作要点（见表9-137）

表9-137　筑炉操作要点

序号	工序	操 作 要 点
1	准备	1）用0.2～0.3MPa的水压检查感应器是否有渗漏现象，感应圈匝之间是否良好 2）在感应器内部，按要求配制感应器膏状保护料，均匀涂于感应圈上，自然干燥24h，或烘干 3）按要求配制筑炉材料，并混合均匀，在混合过程中，要防止砂土、铁屑和其他杂物混入

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th>工序</th><th>操 作 要 点</th></tr>
<tr><td>2</td><td>筑炉</td><td>1. 筑炉底
1）在炉底石棉板上，每次铺以20～50mm高的炉衬材料，用冲锤捣固紧实，直至平面超出感应器之最底圈20～30mm
2）换以圆形炉衬棒打压，使表面坚固，再用耐火砖抹平，直至要求高度
2. 筑炉壁
1）将坩埚模（石墨模和湿法用模在外表包以厚纸板）置于感应圈同心位置，定位后用钢料压紧和固定，然后筑炉，炉壁的厚度一般如下：
<table>
<tr><td colspan="2">坩埚容量/kg</td><td>30～60</td><td>100～150</td></tr>
<tr><td rowspan="2">炉壁厚度</td><td>上部/mm</td><td>40～50</td><td>60</td></tr>
<tr><td>下部/mm</td><td>50～60</td><td>75</td></tr>
</table>
2）将坩埚底部炉材料用叉状棒扒弄粗糙，每次装入厚20～40mm炉衬料捣实直至离炉顶50mm，即感应圈匝上边缘为止
3. 筑炉领
按要求配制炉领材料，打结炉领和出钢槽，并用水玻璃溶液（水/水玻璃＝1/1）均匀涂刷于表面</td></tr>
<tr><td>3</td><td>烧结</td><td>1）干法打结坩埚，自然干燥大于2h后即可进行烘烤。湿法打结坩埚，取模后，自然干燥24h后，或用放入电阻丝低温烘烤，表面干燥后，再进行烧结
2）烧结时，在坩埚内装入金属料（或石墨电极），分级缓慢送电加热，在700～800℃保持3～4h，然后逐步加大功率，使金属熔化，并在1700℃保持1h烧结
3）烧结完的坩埚，可以继续用以炼钢，或停炉，以原冷却水的2/3冷却炉衬3～4h待用</td></tr>
</table>

9.7.3　感应炉熔炼工艺

1. 感应炉熔炼的操作方法（见表9-138）

表9-138　感应炉熔炼的操作方法

序号	工　序	操 作 方 法
1	准备	1）检查炉体，如炉衬、感应器、冷却水管、炉子倾动机构等是否正常 2）检查变频装置、电源、水源及气源是否正常 3）准备工具，如铁钳、铁杆、锭模及浇包等应干燥，浇包需预热到800～950℃ 4）准备测温仪表。测温仪表必须定期校正 5）金属炉料要按配料单逐项称取并校对。同时，按需要称取脱氧剂，并烘烤备用 6）熔剂按要求进行配制、烘烤备用

（续）

序号	工　序	操作方法
2	装炉	1）装炉材料的尺寸大小，以坩埚的完全充填为条件，一般为粗大料和微细料并用 2）将难熔的、大块的炉料装在靠近坩埚壁和坩埚底部的高温区；小块炉料装在坩埚上部的低温区 3）装料顺序，以回炉料、废边料和元素不易烧损的铁合金，如钼铁、纯镍等先加，全部熔化以后，才添加易烧损元素的铁合金，如低碳铬铁、锰铁、硅铁等 4）为防止“架桥”，在装料过程中应注意：上部炉料不应超过感应器高度；长棒形炉料应竖直装入坩埚；并力求做到“下紧上松”
3	熔化	1）炉料装好后即可送电熔化。开始几分钟用较低的功率；当电流波动较小后，采用最大功率，直至熔清 2）随着炉料的熔化，把未装完的炉料陆续装入，直至炉料全部化清 3）炉料开始熔化后，应及时撒上熔剂，以防止合金液氧化和吸气。熔渣一般为金属的（质量分数）2%～3%，过多会增加热量消耗和金属损失，应及时扒渣 4）在熔化过程中，应及时捅料，防止发生“架桥”
4	预脱氧、调整成分	1）所有炉料化清后，即可进行预脱氧 2）脱氧剂应分批均匀地撒在渣面上。脱氧剂加入次序应按脱氧能力由弱到强，通常为锰铁、硅铁＋铝等。脱氧剂的用量见表9-127 3）脱氧剂添加后，停置3～4min，取样做炉前分析，造新的炉渣，并降低炉子的功率，使金属不致过热 4）在去除炉渣的条件下，根据炉前分析结果添加相应的成分。凡与氧亲和力较大的合金元素，必须在脱氧良好的条件下加入，且加入的温度也不能太高，以减少烧损。一些难熔和密度大的元素应先加入。几个主要合金元素的加入次序及时间如下： 镍：一般在装料时加入 铬：在脱氧良好的条件下加入。但含Cr量多时，则在装料时加入，为了减少烧损，把它装在炉底 钨和钼：多在炉料熔化后加入钢液中；且块度要小，加入前应烘烤 硅和锰：当加入量不多时，在炉料熔化完了以后、脱氧之前加入 钒、铝、钛、硼、锆：必须在脱氧良好的条件下加入。一般，按钒、铝、钛、硼和锆的先后次序加入。如合金中的铝和钛的含量较多，钒量较少时，则钒应在铝、钛加入后再加入 5）在每次加入合金元素后，必须根据加入量而决定升温时间。当加入较多的铝、钛时，要停电降温

（续）

序号	工　序	操作方法
5	终脱氧、调整合金液温度	1）造新炉渣，加热金属液接近出钢温度 2）去除炉渣，进行终脱氧。终脱氧后，造新炉渣，并静置几分钟，使脱氧产物易于上浮 3）金属熔化和精炼期间，炉渣应为流动的液体状 4）在终脱氧前后，应检查渣是否发白（即为还原渣）。若渣未发白，应补充脱氧 5）终脱氧结束，钢液温度应达到出钢温度（一般比液相线高 80～120℃），钢液从脱氧到浇注的时间不宜太长，避免钢液氧化和吸气
6	出钢、浇注	当合金液成分、温度均已达到要求，脱氧也已完成时，即停电、扒渣，然后将钢液倒入预热的浇包内浇注，或直接翻转浇注

2. 碳钢 ZG310-570 的熔炼工艺

碳钢一般在酸性中频感应电炉中熔炼，然后用浇包浇注铸件。碳钢 ZG310-570 的熔炼工艺操作要点见表 9-139。

表 9-139　ZG310-570 的熔炼工艺操作要点

<table>
<tr><th>序号</th><th>工序</th><th>熔炼操作要点</th></tr>
<tr><td>1</td><td>准备</td><td>1）炉料配比（质量分数）：回炉料 70%，其余用新料
2）炉料的计算成分（质量分数,%）如下：
<table>
<tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>Cr</th><th>Ni</th><th>P</th><th>S</th></tr>
<tr><td>0.53～0.58</td><td>0.25～0.30</td><td>1.1～1.5</td><td><0.3</td><td><0.3</td><td><0.045</td><td><0.045</td></tr>
</table>
3）采用酸性炉衬
4）熔剂（质量分数）：硅砂 80%，碎玻璃 20%</td></tr>
<tr><td>2</td><td>装料</td><td>首先在坩埚底部装入部分小块料和电极碎块（增碳剂，用量少于 20g 时，可在炉料熔化后加入），然后，紧密地装入回炉料和新料</td></tr>
<tr><td>3</td><td>熔化</td><td>1）通电进行熔化，未装完的炉料随着炉料的熔化，陆续加入
2）钢的整个熔炼过程，应在熔剂覆盖下进行，全部熔化后，取样进行炉前分析</td></tr>
<tr><td>4</td><td>调整成分</td><td>全部炉料熔化后，升温至 1530～1540℃，加入预热好的锰铁和硅铁</td></tr>
<tr><td>5</td><td>脱氧</td><td>1）继续升温至 1560～1570℃时，除去熔渣，并覆盖新熔剂
2）依次加入质量分数为 0.2% 的锰铁、0.1% 的硅铁脱氧
3）用质量分数为 0.03% 的铝进行终脱氧（大容量炉可在浇包中用铝终脱氧）</td></tr>
<tr><td>6</td><td>出钢浇注</td><td>脱氧之后，当钢液温度达到 1570～1590℃时，除净熔渣，停电、出钢浇注</td></tr>
</table>

3. 低合金钢 ZG35CrMnSi 的熔炼工艺

低合金结构钢一般在酸性中频感应电炉中熔炼，也可在碱性炉中熔炼。ZG35CrMnSi 钢的熔炼工艺操作要点见表 9-140。

表 9-140　ZG35CrMnSi 钢的熔炼工艺操作要点

序号	工序	熔炼操作要点
1	准备	1）炉料：回炉料、新钢料和铁合金 2）炉料的配料计算见表 9-129 3）坩埚可用酸性炉衬，也可采用碱性炉衬 4）熔剂： 碱性坩埚熔炼时，熔剂配比（质量分数）为：石灰 80%、氟石 10%、镁砂 10% 酸性坩埚熔炼时，熔剂配比（质量分数）为：硅砂 80%，碎玻璃 20%
2	装料	在坩埚底部撒上一层厚度为 10～20mm 的熔剂，并装入部分小料，然后装入铬铁和碎电极，最后紧密地装入回炉料及新钢料
3	熔化	1）通电熔化。开始供给 60% 功率，待电流波动平稳后，逐渐将功率加大至最大值 2）当出现钢液时，立即撒熔剂覆盖。在熔化中应不断向下捅料，防止“架桥”，并把未装完的炉料陆续加入，直至全部熔化，取样分析 C、Mn、Si
4	调整成分	1）炉料全部熔化后加入钼铁 2）升温至 1520～1530℃时，推开熔渣，加入预热的锰铁和硅铁，搅拌后覆盖上熔剂
5	脱氧	1）升温至 1560℃时，换渣，先加入锰铁（质量分数）0.15%～0.2%，后加入硅铁（质量分数）0.05%～0.1% 2）升温到 1580～159℃，加硅钙 SiCa（质量分数）0.2%，或用铝（质量分数）0.03%～0.06%，进行最终脱氧
6	出钢浇注	1）脱氧之后即断电，并在 2～3min 内扒除熔渣 2）出钢、浇注

4. 高合金钢 ZG1Cr25Ni20Si2 的熔炼工艺

酸性感应炉 ZG1Cr25Ni20Si2 的熔炼工艺见表 9-141。

表 9-141　酸性感应炉 ZG1Cr25Ni20Si2 的熔炼工艺

时期	序号	工　　序	操 作 要 点
熔化期	1	通电熔化	开始通电时，供给 60% 左右的功率，待电流冲击停止后，逐渐将功率增至最大值
	2	倒料助熔	随着坩埚下部炉料熔化，经常注意捣料，防止“搭桥”，并陆续添加炉料
	3	造渣	大部分炉料熔化后，加入造渣材料（一般用碎玻璃）造渣，加入量（质量分数）约为 1.5%
	4	取样、扒渣	炉料基本上熔毕时，取钢样，进行全分析，并将其余的炉料加入炉内。炉料全熔后，减小功率，倾炉、扒渣，并另造新渣
还原期	5	脱氧、调整成分	加入低碳锰铁和硅铁脱氧，并调整硅、锰含量。然后，加入低碳铬铁，调整含铬量
	6	测温、作圆杯试样	测量钢液温度（要求大于等于 1550℃），并作圆杯试样，检查钢液脱氧情况
出钢	7	终脱氧、出钢	钢液化学成分及温度符合要求，脱氧情况良好时，每吨钢液插铝 1kg 进行终脱氧，停电，倾炉出钢

5. 不锈钢 ZG12Cr18Ni9Ti 熔炼工艺

对于质量要求较高的不锈钢、耐热钢、耐热合金等大都在碱性炉中熔炼成化学成分合格的母合金锭，随后在中频或高频感应炉中再进行重熔，用来浇注铸件。ZG12Cr18Ni9Ti 钢的熔炼工艺要点见表 9-142。

表 9-142　ZG12Cr18Ni9Ti 钢的熔炼工艺操作要点

序号	工　序		熔炼操作要点
1	准备		1）采用回炉料、重熔料、12Cr18Ni9Ti 新料以及 Ni、Cr、纯铁 2）配料计算 3）采用碱性坩埚熔炼 4）熔剂（质量分数）为：CaO 80%，CaF_2 10%，MgO 10%
2	装料		在坩埚底撒上一层熔剂，随即依次加入锰，或低碳锰铁（脱氧剂）、微碳铬铁，或铬和镍、纯铁，然后，再紧密地装入回炉料、重熔料和 12Cr18Ni9Ti 新料
3	熔化期		开始通电 6～8min 内供给 60% 左右的功率，待电流冲击停止后，逐渐将功率增到最大值，随炉料熔化，陆续加入未装完的炉料，并覆盖上熔剂，尽快熔化
			钢的整个熔炼过程中，应在熔剂覆盖下进行
			造渣材料（质量比）：石灰粉∶氟石粉 = 2∶1 覆盖钢液，渣料加入量为钢液重量的 1%～1.5%
			约 95% 炉料熔毕时，取钢样全分析
4	还原期	脱氧	1）炉料全部熔化后，升温至 1480～1500℃ 时加入硅铁，然后进行换渣 2）升温至 1600～1620℃ 时，把熔渣打开一小洞，加入合金液重量 0.1% 的硅钙 SiCa 脱氧剂进行脱氧，并覆盖上熔剂
		加钛铁	3）升温至 1610～1630℃ 时，用重量为合金液的 0.03%～0.06% 的 Al 进行脱氧。并及时加入钛铁（TiFe），然后覆盖上熔剂
5	终脱氧、出钢		钢液在覆盖下保持 2～3min 后，温度合适，即可出炉

9.8　重力浇注

9.8.1　浇注形式

利用金属液自身的重力填充型腔的浇注方法称为重力浇注。浇注形式有两种如下：

（1）用浇包浇注　浇包的结构如图 9-23 所示。浇包使用前，需经≥800℃ 烘烤 2h 以上。

（2）直接在炉上浇注　直接从炉上浇注时，分炉体倾斜和炉体翻转两种。炉体翻转式浇注装置如图 9-24 所示。

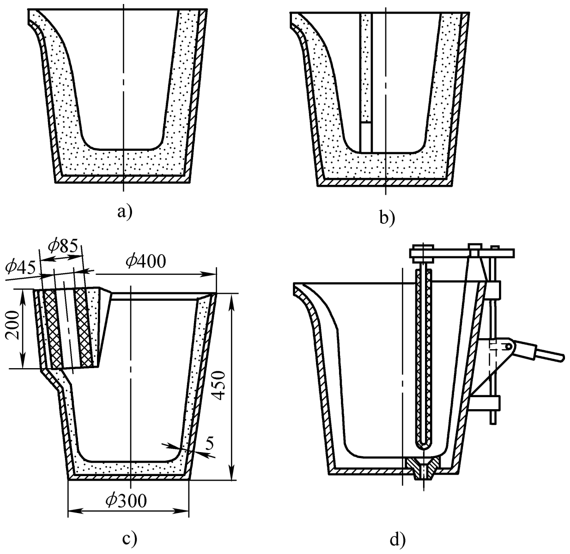


图 9-23　浇包

a）普通浇包　b）带挡渣板的茶壶式浇包

c）带沟道的茶壶式浇包　d）塞杆式浇包

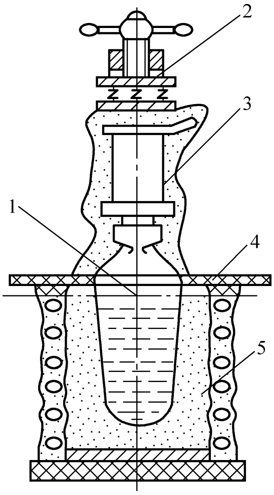


图 9-24　翻转式浇注装置

1—旋转中心　2—压紧机构　3—型壳

4—石棉垫　5—坩埚

9.8.2　浇注时的型壳温度

熔模铸造浇注时，型壳（铸型）的温度见表 9-143。

表 9-143　合金种类可选用的型壳温度

合　金	铸件特点	型壳温度/℃	合　金	铸件特点	型壳温度/℃
高温合金	一般叶片	800～1050	球墨铸铁	铁素体	400～600
	定向凝固叶片	1000～1600		珠光体	100～300
铸钢	薄小铸件	850～950	铸铝	一般	200～400
	5mm 厚小铸件	>700		特薄件	400～600
	5～10mm 厚中铸件	600～700	铸铜	一般	400～600
	>10mm 厚大铸件	<500		厚件	300～400

9.8.3　浇注温度

1. 熔模铸造常用铸钢的出钢温度和浇注温度（见表 9-144）

表 9-144　熔模铸造常用铸钢的出钢温度和浇注温度

序　　号	牌　　号	液相线温度/℃	出钢温度/℃	浇注温度/℃
1	ZG200-400	1530	1610～1630	1580～1610
2	ZG230-450	1515	1590～1610	1550～1580

（续）

序　　号	牌　　号	液相线温度/℃	出钢温度/℃	浇注温度/℃
3	ZG270-500	1500	1580～1600	1540～1580
4	ZG310-570	1490	1570～1590	1530～1570
5	ZG340-640	1480	1570～1590	1530～1570
6	ZG16CrMnTi	—	1610～1630	1560～1610
7	ZG27CrMnSiNi	—	1600～1620	1550～1590
8	ZG35CrMnSi	—	1580～1600	1530～1580
9	ZG12Cr18Ni9Ti	1510	1620～1640	1570～1630

2. 熔模铸钢件的结构特点与浇注温度（见表9-145）

表9-145　熔模铸钢件的结构特点与浇注温度

序号	铸件结构特点	型壳温度/℃	浇注温度/℃
1	大件（2500g）、壁厚（10mm）	<500	1480～1520
2	中等件（500g）、壁厚（5～10mm）	600～700	1520～1550
3	小件、壁薄（5mm）	>700	1550～1580

3. 熔模铸造非铁合金的浇注温度（见表9-146）

表9-146　熔模铸造非铁合金的浇注温度

序号	合　　金	浇注温度/℃	序号	合　　金	浇注温度/℃
1	黄铜	950～1050	5	铝-铜（Al-Cu）合金	720～750
2	青铜	1100～1150	6	铝-镁（Al-Mg）合金	680～720
3	纯铜	1100～1150	7	锌合金	410～430
4	铝-硅（Al-Si）合金	700～730	8	镁合金	700～720

9.8.4　浇注速度

浇注速度通常以浇注时间表示。

1）容量10kg的翻转炉，浇注速度一般为3～4s。

2）采用浇包浇注

①重量5～10kg铸件的浇注速度，一般为4～8s。

②大型复杂铸件的浇注速度见表9-147。

表9-147　大型复杂铸件的浇注速度

铸件重量/kg	浇注速度/s	铸件重量/kg	浇注速度/s
<100	<10	300～500	<30
100～300	<20	500～1000	<60

9.8.5　浇注操作

1. 热型浇注

简单、大型、要求不高的熔模铸型可以考虑冷型浇注，大多数情况都是采取热型浇注。普通碳钢铸件铸型（型壳）浇注时温度保持在200~700℃，合金钢铸型、复杂铸型、真空浇注铸型、翻斗浇注铸型，其铸型浇注时温度要求在600~800℃。铸型温度高，浇出的铸件尺寸精度较高，但温度过高会导致金属晶粒粗大，产生严重脱碳。因此，在满足铸件尺寸要求的前提下，应选用较低的铸型温度浇注。

2. 浇注操作顺序

熔模铸造的浇注操作顺序是：先将浇注温度要求高的铸型从烘炉中取出，排放在浇注场地上，根据金属液温度和铸型要求温度进行浇注。如果型壳周围无干砂，则将型壳放置在铺有干硅砂的浅底浇注箱内浇注。薄壁铸件最好是采用离心浇注。

9.9　铸件清理与热处理

9.9.1　铸件在型壳中的冷却方式与冷却时间

1. 铸件在型壳中的冷却方式（见表9-148）

表9-148　铸件在型壳中的冷却方式

序号	冷却方式	工艺要点	作　　用
1	自然冷却	浇注后自由堆放冷却	一般生产多用，方法简便
2	快速冷却	浇注后吹冷风冷却，浇注后向型壳喷水	提高局部致密度，防止缩松，加速冷却，减少表面脱碳，易清洗
3	保护气氛下冷却	浇注后滴入煤油，迅速加罩密封，维持2h	防止铸件表面脱碳和麻坑缺陷
		浇注后放入碎蜡片（每壳50g）加罩密封，维持2h	防止铸件表面脱碳和铸钢表面麻坑缺陷
4	真空下冷却	浇注后真空下冷却至<600℃	防止铸件表面氧化
5	加压凝固冷却	真空下浇注，随后充以0.3~0.5MPa的压缩空气，或惰性气体下凝固	防止析出气体和缩松

2. 填砂造型浇注时，熔模铸件铸型的冷却时间（见表9-149）

表9-149　不同合金铸件的铸型冷却时间

序号	合金种类	铸型自然冷却时间/h	序号	合金种类	铸型自然冷却时间/h
1	碳钢铸件	≥2	4	磁钢铸件	6~8
2	合金钢铸件	2~3	5	铝合金铸件	1~2
3	耐热合金钢铸件	4~8	6	铜合金铸件	≥0.5

注：单壳浇注时，当型壳温度降至250~450℃时，即可清壳。

9.9.2 铸件组脱壳方法

熔模铸造生产的铸件表面质量要求较高，清理时不能击伤铸件的表面，并且表面的砂粒必须清理干净，因此，广泛使用机械清理和化学清理。

1. 机械脱壳

铸件凝固冷却后，一般采用机械振击方法脱壳。使铸件在外力振动作用下，达到清除型壳的目的。震击所用动力为气压和电力。

常采用的脱壳机有：卧式振动脱壳机和凿岩机式脱壳机。

机械脱壳的特点是：生产效率高，但劳动条件差，噪声和粉尘均较大，需要有除尘设备和消声装置。对带有小孔、深孔、深槽及复杂内腔的铸件，清除不干净。

2. 电液压清砂

电液压清砂是利用水中电极与铸件之间（与电极之间）高压放电产生的冲击波和冲击压力，反复作用到型壳和型芯上，而将型壳和型芯清理干净。

电液压清砂特点：耗电少；效率高；成本低；无粉尘；劳动条件好。但清理过程中，会产生有害 CO、电磁辐射，必须采取安全防护措施。

电液压清砂适于各种金属材质及各种大小复杂程度的铸件。

3. 高压水力清砂

高压水力清砂是利用较大功率的液压系统，使普通的水通过喷嘴变为压力高达 70MPa 或更大压力的高速射束，喷射到型壳、型芯上，使型壳（芯）击成碎片或脱落。

此种脱壳方法的特点是：操作安全，无粉尘，生产率高，还可光饰铸件表面。

9.9.3 切割浇冒口的方法

切割浇冒口的方法主要有：气割、砂轮切割、锯切、液压切割、阳极切割等。

1. 气割

气割是采用氧-乙炔割炬切割浇冒口，其实质是铸件切割处被加热到熔化温度的金属，在氧气流的压力作用下，从切口上除去的方法。

气割的特点是：切割效率较高。但用这种方法易损伤铸件，浇冒口余根较大，增加对铸件修整的工作量，并且使铸件局部的硬度和脆性增加，需退火处理

气割适于切割大中型碳钢和合金钢铸件的浇冒口，也适于铜合金铸件的浇冒口。

2. 砂轮切割

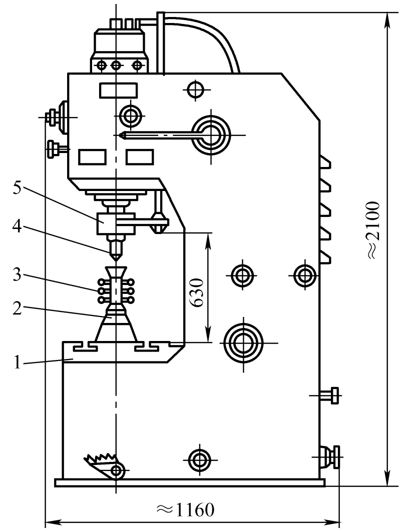
砂轮切割是利用电动机（3000r/min）带动砂轮片高速旋转来完成切割。切割效率较高，劳动强度低、切割质量高，但需注意安全，应装设除尘和防护罩。砂轮切割适用于切割碳钢、合金钢、耐热钢、高温合金和铜合金铸件的浇冒口。

3. 锯切

采用锯床切割浇冒口。常用的锯床有：带锯、弓形锯、圆盘锯等。锯割的特点是生产率高，劳动条件好。但应有安全防护设施。锯切用于切割非铁合金铸件的浇冒口。

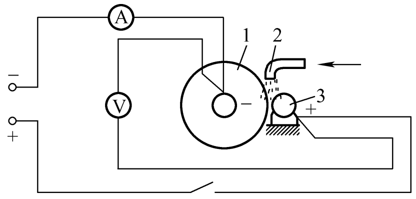
4. 液压切割（见表 9-150）

表 9-150　液压切割机的工作原理、特点和应用范围

 10t 单柱液压切割机简图 1—工作台　2—环形刀片　3—铸件组 4—压头　5—滑块	工作原理	在液压切割机工作台 1 上，安装带刀座的环形刀片 2，在滑块 5 上装上压头 4。工作时，压头处于上行程极限位置。当待切割铸件组 3 置于环形刀刃口上时，即可开动机器，压头随滑块下行，当压头接触铸件浇口杯后，在高压下，每排铸件的内浇道由下而上依次受剪切力而断裂，铸件落于工作台上，待最上排铸件切割后就停车，使滑块快速复位。从环形刀片孔中拔出直浇口棒，切割完成
	特点	生产率高、切割条件较好，提高金属利用率，但内浇道应采用易割浇道
	应用范围	适用于品种单一，生产批量大，浇注系统比较简单的小铸件

5. 阳极切割（见表 9-151）

表 9-151　阳极切割机的工作原理、特点和应用范围

 阳极切割机工作原理图 1—割盘　2—管子　3—铸件	工作原理	切割之前，把低压直流电源的阳极接在待切割的铸件 3 上，阴极接在转动割盘 1 上。切割过程中，在两电极之间由于管子 2 浇入电解液（如水玻璃溶液），由于直流电的作用，使铸件表面产生硅酸盐保护膜。割盘旋转时，保护膜某些部位同切割表面微小凸起被清除，使这些部位的保护膜厚度减小，集中了大电流而引起短时间的热作用，足以熔化切割部位的微细表面。熔化的金属很快被旋转割盘抛出，割盘逐渐进入浇道，直至将铸件切下
	应用范围	适用于切割铸钢件、各种导电材料。它的生产率比砂轮切割机高 4 倍，比气割高 1 倍

9.9.4　铸件表面清理方法

铸件经脱壳后，表面上总残留有型壳和氧化铁皮，尤其是复杂内腔、深槽、不通孔的铸件，不能全部清理干净，必须进行表面清理。

表面清理方法有：①抛丸清理；②喷丸（砂）处理；③化学清理（碱煮法、碱爆清理、碱洗滚筒）；④电化学清理；⑤振动光饰法；⑥砂轮打磨等。

1. 抛丸清理

抛丸清理是利用高速旋转的抛丸器叶轮产生的离心力，将铁丸抛向铸件表面，使铸件表面残砂、粘砂、氧化铁皮清除。其特点是能清理不同大小及形状的铸件，但会恶化铸件精度和表面粗糙度。只用于要求不高的熔模铸件。抛丸清理机的型号、技术规格和应用范围见表9-152。

表9-152 抛丸清理机的型号、技术规格和应用范围

序号	名称	型号	技术规格				应用范围
			最大载重量 /kg	铸件最大尺寸 /mm	外形尺寸（长×宽×高） /mm	机器重量 /kg	
1	滚筒式抛丸清理机	Q3110Ⅰ型	300	≤400	2078×2165×1861	3575	<15kg的铸件
2	滚筒式抛丸清理机	Q3113Ⅰ型	600	1100	5090×3200×2550	7038	<30kg的铸件
3	滚筒式抛丸清理机	Q3113B型	600	≤1100	5090×3310×2550	6946	<30kg的铸件
4	滚筒式抛丸清理机	Q3313型	800	≤600	6250×3950×5700	11000	≤40kg的铸件
5	抛丸清理机	Q365B型	5000	2500×1800×1300	6980×4670×6200	≈10800	大型铸件
6	单钩吊链抛丸清理室	Q388型	800	800×1500	4060×2910×4500	3800	中小型件、怕碰撞细长件、薄壁件

2. 喷砂（丸）清理

喷砂清理是在压缩空气（或水力）作用下，铁丸（砂）随气（或水）流高速喷到铸件表面上，使残砂、粘砂、氧化铁皮去除。

喷砂清理机分为液体喷砂装置和风动喷砂装置。液体喷砂机型号有SS-1、SS-2、SS-5、SS-5A（半自动）。风动喷砂机分为：吸入式、压入式和重力式三种。

喷砂机能清理大小形状不同的铸件。一般不恶化铸件的精度和表面粗糙度。但风动喷砂需要除尘装置。

喷砂机的主要工艺参数及适用范围见表9-153。

表9-153 喷砂机的主要工艺参数及适用范围

喷砂（丸）方法	材料	粒度	喷射压力 /MPa	适用范围
压缩空气喷砂（丸）	硅砂或刚玉砂 铁砂	20/40筛号 0.5～2mm	0.3～0.6 0.5～0.6	铸钢、低合金钢和高合金钢
	硅砂 铁砂	40/70筛号 0.5～1.5mm	0.1～0.15 0.3～0.4	非铁合金铸件

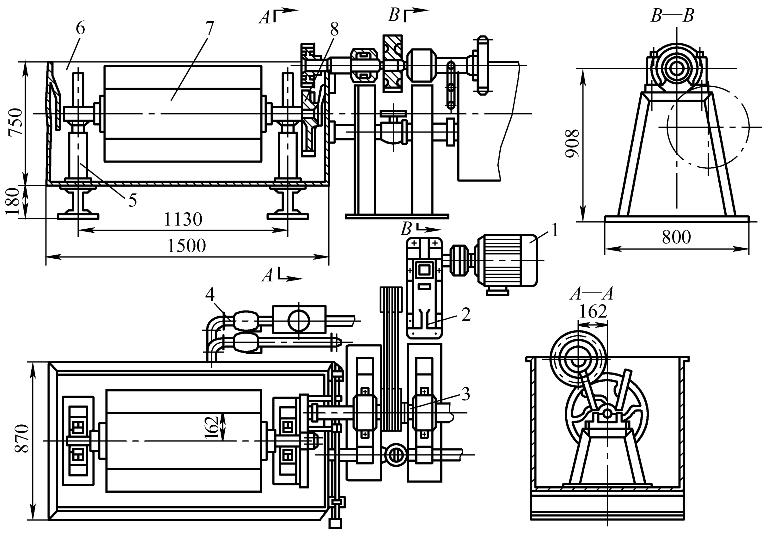
（续）

喷砂（丸）方法	材料	粒度	喷射压力 /MPa	适用范围
水力喷砂	整形砂（或玻璃砂）	80/100 筛号	0.2～0.3	铸钢、耐热合金、有特殊要求的铸件
	碳化硅砂	120/220 筛号	0.1～0.15	非铁合金、有特殊要求的铸件

3. 化学清理

（1）碱煮法　碱煮滚筒的碱煮工艺见表 9-154。

表 9-154　碱煮滚筒的碱煮工艺

原理	碱煮法是将带残砂的铸件放入苛性钠（或苛性苏打）溶液中加热煮沸，生成硅酸钠（或硅酸钾）的粘性液体，而从铸件上脱离出来，以达到清除型壳（芯）的目的
工艺设备	碱煮滚筒
碱煮滚筒结构简图	 碱煮滚筒结构 1—电动机　2—减速器　3—带轮　4—蒸汽管　5—支架　6—碱液槽　7—滚筒　8—大齿轮

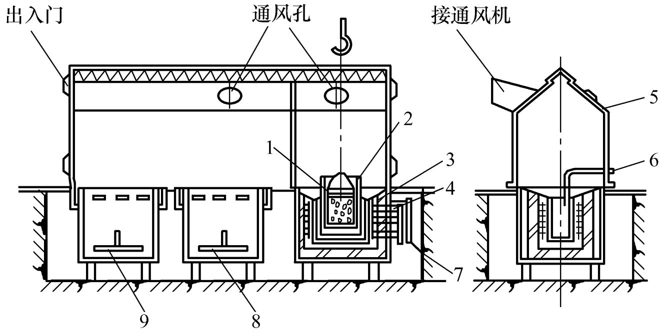
序号	碱煮工艺参数					
	用途	碱煮			时间 /h	中和与清洗
		碱液（质量分数,%）	温度 /℃	碱液消耗量 /(kg/kg 型壳)		
1	碳钢铸件表面粘砂	氢氧化钠 20～30	沸腾	0.8～1	4～8	热水清洗
		氢氧化钾 40～50		1.3～1.4	4～8	

（续）

<table>
<tr><td rowspan="3">序号</td><td colspan="6">碱煮工艺参数</td></tr>
<tr><td rowspan="2">用途</td><td colspan="3">碱　　煮</td><td rowspan="2">时间
/h</td><td rowspan="2">中和与清洗</td></tr>
<tr><td>碱液
（质量分数,%）</td><td>温度
/℃</td><td>碱液消耗量
/(kg/kg 型壳)</td></tr>
<tr><td>2</td><td>合金钢铸件表面粘砂</td><td>氢氧化钠 15～25</td><td></td><td>0.8～1</td><td>4～8</td><td>1）氧化铬 90g＋硫酸 30g＋氯化钠 1.2g＋水 1kg
2）温度 18～28℃
3）时间 2～3min
4）中和处理后，再用流动清水冲洗铸件</td></tr>
<tr><td>3</td><td>陶瓷型芯</td><td colspan="5">见本章 9.6 节陶瓷型芯的脱芯方法</td></tr>
</table>

（2）碱爆清理　碱爆清理装置及处理工艺见表 9-155。

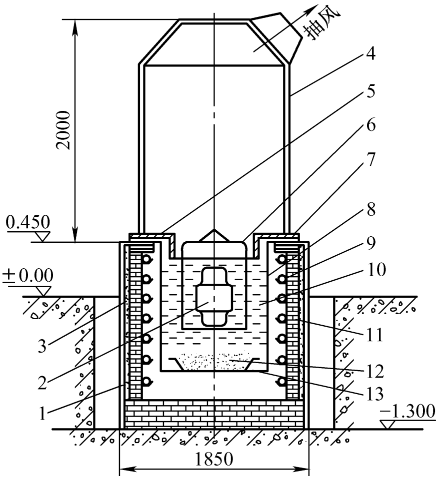
表 9-155　碱爆清理装置及处理工艺

<table>
<tr><td>碱爆清理原理</td><td colspan="8">将带砂的铸件在高温高浓度的碱液中碱煮，使 SiO_2 与苛性钠发生反应，生成水玻璃状熔融物，然后将铸件移入水中的瞬间，熔融物即产生高压蒸汽而爆炸，并随之产生剧烈振动，使型壳破碎脱落，达到清理目的</td></tr>
<tr><td>碱爆装置</td><td colspan="8">

碱爆清理装置简图
1—铸件吊筐　2—捞渣盘　3—溶液槽　4—电阻加热炉　5—防护罩
6—热电偶　7—电源接线　8—冷水槽　9—热水槽</td></tr>
<tr><td rowspan="5">碱爆工艺参数</td><td colspan="6">碱　　煮</td><td colspan="2">水　　爆</td></tr>
<tr><td rowspan="3">材料</td><td rowspan="3">温度
/℃</td><td rowspan="3">每吨铸件耗碱量
/kg</td><td colspan="3">保温时间/min</td><td rowspan="3">水槽温度</td><td rowspan="3">清洗水温
/℃</td></tr>
<tr><td colspan="3">铸件单重</td></tr>
<tr><td><1kg</td><td>1～5kg</td><td>>5kg</td></tr>
<tr><td>NaOH(工业)</td><td>500～520</td><td>40</td><td>25～30</td><td>30～50</td><td>50～60</td><td>室温</td><td>70～90</td></tr>
</table>

（3）电化学清理　电化学清理装置及清理工艺见表9-156。

表9-156　电化学清理装置及清理工艺

<table>
<tr><td>原理</td><td colspan="11">电化学清理是将铸件置于一定浓度的沸腾的碱性溶液中，通以直流电，通过化学反应和电解还原，清除铸件上粘砂的方法</td></tr>
<tr><td>应用范围</td><td colspan="11">主要用于清理内腔结构复杂铸件的残砂和型芯</td></tr>
<tr><td>电化学清理装置图示</td><td colspan="11">

1—外壳　2—铸件　3—保温层　4—抽风罩　5—框架　6—铸件筐　7—绝缘物　8—坩埚　9—电热丝　10—电解液　11—耐火砖　12—沉渣　13—沉渣盘</td></tr>
<tr><td>操作工序</td><td colspan="11">将铸件装筐→电化学清砂→冷水清洗→热水清洗→取出铸件吹干</td></tr>
<tr><td rowspan="4">工艺参数</td><td rowspan="2">序号</td><td colspan="4">碱液成分（质量分数,%）</td><td rowspan="2">槽液温度/℃</td><td colspan="4">电　　解</td><td rowspan="2">清洗</td></tr>
<tr><td>NaOH</td><td>NaCl</td><td>NaF</td><td>硼砂</td><td>阳极</td><td>阴极</td><td>电流/A</td><td>电压/V</td></tr>
<tr><td>1</td><td>89～90</td><td>10～15</td><td>—</td><td>—</td><td>400～500</td><td>坩埚</td><td>铸件筐</td><td>800～1200</td><td>6～12</td><td>冷水或热水清洗6～8min</td></tr>
<tr><td>2</td><td>75～95</td><td>—</td><td>1～15（2.5最佳）</td><td>1～5（2.5最佳）</td><td>450～500</td><td>坩埚</td><td>铸件筐</td><td>电流密度4～6 A/cm²</td><td>2～6</td><td>冷水或热水清洗</td></tr>
</table>

注：NaF可以用氟石或冰晶石替代。

9.9.5 熔模铸件的缺陷焊补

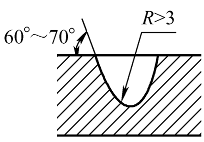
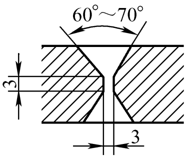
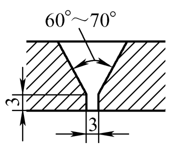
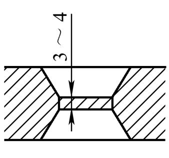
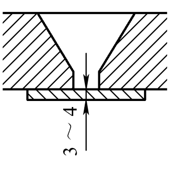
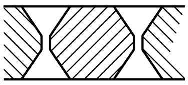
1. 铸件的焊补方法、工艺特点及应用范围（见表9-157）

表9-157 铸件缺陷的焊补方法、工艺特点及应用范围

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="2">焊补方法</th><th>工艺特点</th><th>焊补质量</th><th>应用范围</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">氧-乙炔气焊</td><td>1）设备简单，操作方便，适应性强、可预热焊也可不预热焊
2）焊缝空间位置任意</td><td>较差</td><td>1）适于静止条件下工作的低碳钢、铜铸件
2）不预热焊用于非加工面的焊补
3）预热焊多用于加工面上的焊补</td></tr>
<tr><td>2</td><td rowspan="2">电弧焊</td><td>焊条电弧焊</td><td>1）设备简单，使用灵活、方便，可冷焊、半热焊和热焊
2）适用于任何空间位置的焊补
3）生产率低，劳动强度大</td><td>决定于焊工的技术水平</td><td>1）适于碳钢、低合金钢、不锈钢、铝和铜合金铸件
2）适于在静止、冲击和振动载荷下工作，要求焊缝坚固、密实的铸件</td></tr>
<tr><td>3</td><td>氩弧焊</td><td>1）利用氩气作保护气体进行焊补。电弧热量集中，热影响区小，焊件变形小
2）焊缝空间位置为俯焊</td><td>较高</td><td>1）适用于铝合金、钛合金、镁合金、不锈钢、耐热钢、高温合金
2）适于在各种载荷下工作，要求焊缝坚固、密实的铸件</td></tr>
</table>

2. 缺陷特征及焊接坡口的选择（见表9-158）

表9-158 缺陷特征及焊接坡口的选择

<table>
<tr><th colspan="2">缺陷特征</th><th>应开的坡口形式图示</th><th colspan="2">缺陷特征</th><th>应开的坡口形式图示</th></tr>
<tr><td colspan="2">未穿透孔穴，或裂纹（应开成U形坡口）</td><td></td><td rowspan="2">缺陷部位铸件厚度>20mm</td><td>一般穿透裂纹（应开成X形坡口）</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">缺陷部位铸件厚度<20mm</td><td>一般穿透裂纹（应开成V形坡口）</td><td></td><td>坡口间隙较大，可在间隙处放一块厚3～4mm相同材质的钢板</td><td></td></tr>
<tr><td>坡口间隙较大，可垫一块厚3～4mm铜板进行焊补，焊后将铜板移去</td><td></td><td colspan="2">当坡口间隙很大时，可在间隙处嵌入相同材质的填块</td><td></td></tr>
</table>

3. 焊条的选用（见表 9-159）

表 9-159 焊条选用基本原则、焊条标准

<table>
<tr><th colspan="2">选择焊条的基本原则</th><th>国家标准</th></tr>
<tr><td>1. 从工件工作条件和使用性能出发选择焊条</td><td>1）在承受动载荷或冲击载荷下，要保证抗拉强度、冲击韧度、伸长率均较高，应选用低氢型、氧化钛钙型、氧化铁型渣系焊条
2）在腐蚀介质中工作的，必须分析介质种类、浓度、工作温度以及区分是一般腐蚀还是晶间腐蚀等，从而选择不锈钢焊条
3）在受磨损条件下工作时，须区分是一般磨损，还是冲击磨损；是常温磨损，还是高温磨损
4）处在低温或高温下工作的铸件，应选择能保证低温或高温力学性能的焊条</td><td rowspan="5">1）《碳钢焊条》GB/T 5117—1995
2）《低合金焊条》GB/T 5118—1995
3）《不锈钢焊条》GB/T 983—1995
4）《堆焊条》GB/T 984—2001
5）《铸铁焊条及焊丝》GB/T 10044—2006</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. 没有直流焊机的地方，不宜使用直流电源的焊条，应选用交、直流两用焊条</td></tr>
<tr><td colspan="2">3. 当碱性焊条和酸性焊条都可满足要求时，应尽量选择酸性焊条</td></tr>
<tr><td colspan="2">4. 在使用性能相同时，选用低价焊条</td></tr>
<tr><td colspan="2">5. 形状复杂或大厚度铸件，为防裂纹，选用抗裂性强的焊条（如氧化铁型渣系焊条）；立焊和仰焊时按氧化钛型、钛铁矿型渣系顺序选用；焊接难以清理干净的部位时，应选用氧化性强的酸性焊条，以免产生气孔</td></tr>
</table>

4. 铸件焊补

（1）清理缺陷　缺陷处清理干净；并开出坡口；在裂纹两端钻止裂孔。

（2）铸件预热　铸件焊补预热温度见表 9-160。

表 9-160 铸件焊补预热温度

<table>
<tr><th>铸件材质</th><th>预热温度/℃</th><th>关于预热的说明</th></tr>
<tr><td>镁合金</td><td>300～400</td><td rowspan="4">1）ZG230-450、ZG270-500、ZG20MnSi 等铸件，原则上不预热，但焊补大件和重要部位缺陷时要预热，焊后立即热处理
2）合金钢及 ZG310-570、ZG340-640 等铸件，对较薄、较均匀、形状简单、缺陷少，可不预热；若形状复杂、壁厚悬殊、缺陷较大时，应预热。焊后应退火消除内应力
3）受力部位或应力集中部位的缺陷焊补，应预热</td></tr>
<tr><td>铝合金</td><td>350～450</td></tr>
<tr><td>铜合金</td><td>气焊　400～500
焊条电弧焊 200～350</td></tr>
<tr><td>铸钢</td><td>500～600</td></tr>
</table>

（3）焊条烘干　焊条烘干规范见表 9-161。

表 9-161 焊条烘干规范

序号	焊条名称	药皮类型	烘干规范
1	低碳钢焊条	低氢型	250℃烘干 1～2h，随烘随用；或按制造厂推荐的烘干规范
2	低合金钢焊条	低氢型	250℃以上烘焙 2h 左右；或按制造厂推荐的烘干规范

（续）

序号	焊条名称	药皮类型	烘干规范
3	不锈钢焊条	低氢型	250℃以上烘焙2h左右；或按制造厂推荐的烘干规范
4		钛钙型	150～200℃烘1h，或按制造厂推荐的烘干规范
5	堆焊焊条	低氢型	250℃以上烘焙2h左右；或按制造厂推荐的烘干规范

（4）焊接电流　焊条的焊接电流见表9-162。

表9-162　焊条的焊接电流

序号	焊条种类	焊条直径/mm						
		1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6.0
		焊接电流/A						
1	碳钢焊条	24～40	40～65	50～80	100～210	160～210	200～270	260～300
2	低合金钢焊条	—	—	60～90	90～120	140～190	190～220	—
3	奥氏体不锈钢焊条	—	—	50～80	80～100	110～150	160～200	—
4	铬不锈钢焊条	—	—	—	80～120	120～160	160～200	—
5	堆焊焊条	—	—	60～100	80～140	130～190	190～240	220～260

（5）焊补操作要点（见表9-163）

表9-163　焊补操作要点

序号	关键环节	焊补工艺要点
1	铸件表面堆焊焊道相互重叠	要求每条焊道叠合宽度应小于1/3的焊道宽度
2	敲击焊缝	为减少焊接应力，除第1层和最后一层外，应敲击焊缝
3	对于不预热的铸件，或采用多层焊	为减少焊补处过热，尽量采用小直径焊条和小电流，间断补焊（即焊一段或一层后稍停一下），使焊缝稍冷后（不烫手为准），敲掉熔渣，再继续焊补
4	加工后发现的缺陷需焊补	应在加工表面覆盖石棉板或石棉布
5	预热铸件及高碳钢、合金钢铸件焊补后，必须缓冷	用石棉板覆盖或置于炉内缓冷
6	焊补面积较大，且缺陷在铸件重要部位	焊后应立即退火处理
7	如大小缺陷同时存在	可交替焊补，或由小到大依次焊补
8	不锈钢（ZG12Cr18Ni9）铸件焊补	应避免过热，可采用冷水加速冷却
9	高锰钢铸件缺陷焊补	焊补应在水淬后进行。尽量采用小直径焊条、小电流。一般部位缺陷用结构钢焊条，重要部位用不锈钢或高锰钢焊条焊补

5. 铸件焊后清理和热处理规范（见表 9-164、表 9-165）

表 9-164　铸件焊补区的清理

序号	铸件材质	清 理 方 法
1	铸钢	用手锤敲除熔渣，并用钢丝刷清除残留熔渣
2	铝合金	1）用 60～80℃热水冲洗，并用金属丝刷刷除焊补熔渣 2）在 60～80℃、质量分数为 2%～3% 的铬酐水溶液中清洗 10～15min，然后用热水清洗，烘干
3	镁合金	在温度为 70～80℃、质量分数为 5% 的重铬酸钾水溶液中，用金属刷刷除焊补铸件上的焊药和熔渣，并在上述溶液中清理干净，再用热水冲洗后烘干

表 9-165　铸件焊补后的热处理规范

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="3">铸件材料</th><th>焊补后的热处理</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="8">铸钢</td><td colspan="2">结构钢</td><td>焊后在 500～700℃回火</td></tr>
<tr><td>2</td><td rowspan="7">不锈钢</td><td>ZGCr17Ni</td><td rowspan="2">680℃回火，空冷</td></tr>
<tr><td>3</td><td>ZGCr17Ni3</td></tr>
<tr><td>4</td><td>ZG1Cr17Ni2WMoV</td><td>580℃回火，空冷</td></tr>
<tr><td>5</td><td>ZG1Cr13</td><td rowspan="2">1050℃淬火，750℃回火</td></tr>
<tr><td>6</td><td>ZG2Cr13</td></tr>
<tr><td>7</td><td>ZG12Cr18Ni9Ti</td><td rowspan="2">1050℃淬火</td></tr>
<tr><td>8</td><td>ZG0Cr18Ni9Ti</td></tr>
<tr><td>9</td><td rowspan="3">非铁合金</td><td colspan="2">铜合金</td><td>焊后在 200℃炉内缓冷，或 450～550℃退火</td></tr>
<tr><td>10</td><td colspan="2">铝合金</td><td>重新热处理</td></tr>
<tr><td>11</td><td colspan="2">镁合金</td><td>重新热处理</td></tr>
</table>

6. 焊后质量检验

铸件焊补后，100% 进行目视检查，按铸件技术条件要求，对焊补区进行 X 射线、荧光渗透（或磁粉检验）等检验。焊补区不允许有裂纹、未焊透、未熔合、分层等缺陷。允许存在不超过技术条件要求的气孔、夹杂缺陷。焊补不合格的铸件，允许重新焊补，但同一处缺陷允许焊补的次数，应遵循铸件技术条件的规定。

9.9.6　熔模铸件的防锈处理

1. 铸件清洗

（1）酸性洗涤液配方（见表 9-166）

表 9-166　酸性洗涤液配方

序号	配方（质量分数,%）					处理时间/min	适应范围
	盐酸	氢氟酸	硝酸	水	缓蚀剂（外加）		
1	20	10	—	70	适量	2～10	碳钢、低合金钢铸件
2	20	10	10	60	适量	5～10	不锈钢

注：熔模铸件常需进行中期防锈处理，在防锈处理前，需预先经过清洗。

（2）水基洗涤液配方（见表9-167）

表9-167 水基洗涤液配方

序号	配方（质量分数,%）					洗涤液温度/℃	适应范围
	重铬酸钾	碳酸钠或磷酸钠	水玻璃	甘油	水		
1	0.1～0.2	0.15～0.25	0.15～0.3	—	余量	75～90	铸铜件、铸钢件
2	—	0.1～0.2	0.35～5.0	3.5～5.0	余量	75～90	铸铜件、铸钢件
3	0.5～1.0	1.5～2.5	1.5～3.0	—	余量	50～60	铸铝件

2. 防锈处理

（1）防锈液配方（见表9-168）

表9-168 防锈液配方

序号	配方（质量分数,%）								浸渍温度/℃	浸渍时间/min	应用范围
	亚硝酸钠	无水碳酸钠	苯甲酸钠	三乙醇胺	重铬酸钠	三氧化铬	铬酸钾	水			
1	20	—	5	0.6	—	—	—	余量	室温	2	用于铸钢件，防锈期约6个月
2	15～20	0.5～0.6	—	—	—	—	—	余量	室温	2	
3	—	—	—	—	30	1	—	余量	90	5	用于铸铜件
4	—	—	—	—	—	—	2	余量	95	60	用于铸铝件

注：1. 处理时，将铸件清洗并干燥后，即将铸件浸入防锈液内，保持1～3min即可取出。
2. 防锈液中亚硝酸钠含量多，其防锈能力强；反之，防锈能力弱。

（2）铸件油封方法（见表9-169）

表9-169 铸件油封方法

序号	油封方法	清洗剂	防锈脂	一次浸涂		二次浸涂	
				温度/℃	时间/min	温度/℃	时间/min
1	热涂油工艺	煤油或汽油	中性工业凡士林（或航空润滑油）+质量分数为4%～6%精制蜡	110～120	5～20	60～70	≈5
2	冷涂油工艺	进料（将铸件放入吊篮内）→洗涤（120号或200号溶剂汽油）→烘干（50～60℃热风）→涂油（防锈油脂）→包装					

注：经防锈液或油封防锈的铸件，应存放在湿度≤70%的库房内。

9.10 熔模铸件的质量检验

9.10.1 熔模铸件质量技术标准

熔模铸件质量技术标准见表9-170。

表 9-170　熔模铸件质量技术标准

序号	标准名称	标准代号	标准范围
1	铝合金铸件	GB/T 9438—1999	国家标准
2	熔模铸造碳钢件　技术条件	JB/T 5100—1991	机械行业
3	铝合金铸件规范	HB963—2005	航空专业
4	结构钢熔模铸件技术标准	HB5001—1992	
5	不锈钢、耐热钢熔模铸件	HB5430—1989	
6	航空用铜合金熔模铸件标准	HB5312—1985	

9.10.2　熔模铸件质量检验

熔模铸件的质量检验内容见表 9-171。

表 9-171　熔模铸件的质量检验内容

序号	检验项目		检 验 内 容
1	成分分析	化学	切取化学分析试样，按合金成分要求分析所有组成元素或重要元素
2		光谱	切取试样，分析所有元素或重要元素
3	力学性能	抗拉强度	铸造或从铸件上切取试样，测定抗拉强度 σ_b、断面收缩率 φ、断后伸长率 δ
4		冲击韧度	铸造或从铸件上切取试样，测定冲击韧度（a_K）
5		硬度	铸造或从铸件上切取试样，根据要求测定洛氏（HRA、HRB、HRC）或布氏硬度（HBW）
6		高温性能	铸造或从铸件上切取试样，测定所要求的高温力学性能
7	几何尺寸		用仪器或专用量具测定铸件图上标注的尺寸
8	表面质量	目视	用目视或放大镜检查可见缺陷和表面粗糙度
9		荧光	用荧光渗透法检查表面用目视难以检查的微小缺陷
10	内部缺陷	刨切截面	在铸件易产生内部疏松的部位，在试制期，用抽查方法刨切截面检查
11		X 射线	用 X 射线方法检查铸件内部缺陷
12	理化性能要求	密封性试验	耐压密封性
13		抗氧化性试验	抗氧化性
14		晶间腐蚀倾向、盐雾试验	抗腐蚀性
15		磁性能测定	磁性能（剩磁、矫顽力、最大磁能）

9.10.3　熔模铸件缺陷、原因分析及解决方案

熔模铸件的缺陷、原因分析及解决方案见表 9-172。

表 9-172　熔模铸件的缺陷、原因分析及解决方案

序号	缺陷名称	缺陷特征	原因分析	解决方案
1	欠铸、冷隔	欠铸常在铸件的薄壁或远离内浇道处局部缺肉，其边缘呈圆弧状 冷隔是两股金属液未完全融合，有明显接缝	1）金属液浇注温度和铸型温度低 2）浇注速度慢，或浇道设置不合理，金属流程太长 3）铸件壁厚太薄，金属液流动差 4）浇注时断流	1）提高金属液浇注温度和铸型温度 2）加大浇注速度，或增加内浇道数量（或面积），减少金属液的流程 3）增大浇冒口的压力头，浇注时防止断流
2	缩松	经 X 射线检查才能发现，表面缩松，经荧光或着色检查发现，严重时经吹砂后即可发现	1）铸件结构不合理，热节过多或太大 2）浇冒口的热容量小，未能形成顺序凝固，或压力头小，降低了补缩能力 3）铸型温度低，冷却速度快，补缩通道受阻	1）改进铸件结构，减少热节 2）合理设置冒口，或外加能用加工方法去除的补缩肋，增加压力头，使铸件能在一定压力头作用下得到顺序凝固 3）适当提高浇注温度和铸型温度，减缓铸件冷却速度
3	热裂	表面或内部产生不规则的晶间裂纹，表面呈氧化色，严重的清砂后即可看见，轻度的需加工或渗透检查才能发现	1）与合金的成分有关，碳、硅含量高，液-固相温度范围大，易产生热裂 2）铸型温度低，退让性差，冷却速度快 3）铸件厚薄相差较大，过渡圆角太小	1）对易产生热裂纹的合金或钢种，其碳、硅含量尽可能控制在中、下限 2）提高浇注时铸型温度，减缓铸件的冷却速度，或降低型壳强度 3）在铸件厚薄连接处增设防裂工艺肋，或加大过渡圆角
4	冷裂	铸件上有连续贯穿性裂纹，裂纹断口光亮或轻度氧化	1）铸件冷却过程中收缩受阻，产生热应力和相变应力超过在弹性状态下铸件材料的强度而断裂 2）在清壳、切割浇冒口或校正过程中，有残余应力的铸件受到外力作用而断裂	1）在易产生冷裂部位增设加强肋，提高型壳的可退让性，减少收缩受阻和铸造应力 2）在后处理的工序中应避免铸件受剧烈撞击

（续）

序号	缺陷名称	缺陷特征	原因分析	解决方案
5	气孔	铸件上有明显的或暗的内表面光滑孔眼	1）型壳透气性差，浇注时型腔内的气体来不及排出 2）型壳焙烧不充分，未充分排除模料残余物及制壳材料中的发气物质 3）金属液气体含量过高，脱氧不良 4）浇注系统设置不合理，浇注时卷入气体	1）改善型壳透气性，必要时可增设排气 2）充分焙烧型壳 3）改善脱氧方法 4）改进浇注系统
6	麻点	在铸件表面局部有密集圆点状凹坑	1）用硅酸乙酯作粘结剂时，不完全水解物在涂料过程中，室内相对湿度低，未能得到进一步水解，焙烧后析出“白霜”形成麻坑 2）用水玻璃作粘结剂时，型壳残余盐类与金属液产生反应形成麻坑 3）金属液脱氧不良或出钢时渣料未扒干净	1）用硅酸乙酯作粘结剂时，适当增加水的加入量和增大涂料工作室的相对湿度，尽量减少残余不完全水解物 2）用水玻璃作粘结剂时，脱完蜡后用酸化水清洗 3）表面层涂料改用硅溶胶作粘结剂 4）熔炼时加强脱氧和扒渣
7	皮下针孔	铸件表面经打磨或抛光后，出现微小黑点，多产生于镍铬型不锈钢	1）炼钢时使用过多回炉料，或回炉料未经处理 2）熔炼过程中金属液被氧化或吸收气体，未能充分脱氧 3）制壳材料杂质含量高，或粘结剂与金属液产生反应 4）浇注系统设置不合理	1）控制回炉料用量，回炉料需经过吹砂 2）严格控制熔炼工艺，加强脱氧 3）采用电熔刚玉、锆砂和硅溶胶，或硅酸乙酯涂料 4）尽量采用底注，或增设排气孔
8	粘砂	在浇道附近或铸件内有粘砂层，经吹砂后有凸起的毛刺或凹坑	1）涂料面层用的耐火粉料杂质含量过高，与金属液反应形成低熔点共熔物 2）浇注温度过高，尤其是含Al、Ti等元素的钢种，易与硅砂起化学反应 3）浇注系统设置不合理，大量金属液流经内浇道，形成局部过热	1）采取电熔刚玉或锆砂代替硅砂，尽量不用水玻璃作粘结剂 2）适当降低浇注温度 3）增设内浇道，调整热平衡，减少局部过热

（续）

序号	缺陷名称	缺陷特征	原因分析	解决方案
9	鼓胀	在铸件较大的平面上局部鼓胀，用水玻璃作粘结剂时更为明显	1）铸件结构不合理，平面面积太大 2）型壳高温强度低，不能承受金属液的压力	1）改进结构，在平面增设工艺肋或工艺孔 2）用杂质少、耐火度高的型壳材料，或增加型壳厚度
10	夹渣	在铸件的内部或表面夹有渣料或其他杂物，内部夹杂需经X射线或磁力探伤才能发现，表面夹渣，清砂后即可显露	1）渣料太稀，出钢前未扒干净 2）出钢前增埸出钢槽上的杂物未清理干净，被带入金属液内 3）浇注时，挡渣不好，渣料随金属液进入型腔	1）出钢前适当调整渣料成分，使渣料粘度增大易于扒渣 2）清理出钢槽内的杂物，避免带入浇包内 3）浇注前，钢液适当镇静，便于渣料上浮 4）采取带挡渣板茶壶式浇包，或陶瓷过滤网
11	脱碳	铸件表面层碳的含量低于基体	1）浇注时，金属液和铸型的温度偏高，铸件的凝固速度慢 2）铸件冷却环境的气氛与脱碳层的深度有关，氧化性气氛的浓度越大，则脱碳越严重	1）适当降低浇注温度和铸型温度，加大铸件的冷却速度 2）在铸型周围，人为地造成还原性气氛，如在铸型内加入碳酸钡、木炭粉，或浇注后将铸型置于专用罩内滴撒煤油等

第 10 章　陶瓷型铸造

陶瓷型铸造（又称陶瓷型精密铸造）的造型方法是在砂型铸造造型方法基础上发展的新工艺，区别仅在于型腔表面。砂型的型腔表面是涂刷一层耐火涂料，以提高砂型强度和降低铸件表面粗糙度值。陶瓷型的型腔表面是一层用灌浆方法得到约10mm 厚的特殊陶瓷层。这一陶瓷层洁白、致密、表面粗糙度值低、尺寸准确、耐火度高，适于浇注各种模具和大型精密铸件。

10.1　陶瓷铸型的成型过程

10.1.1　整体陶瓷铸型

全部由陶瓷浆料灌注而成的铸型称之为整体陶瓷铸型。其成型过程如图 10-1 所示。

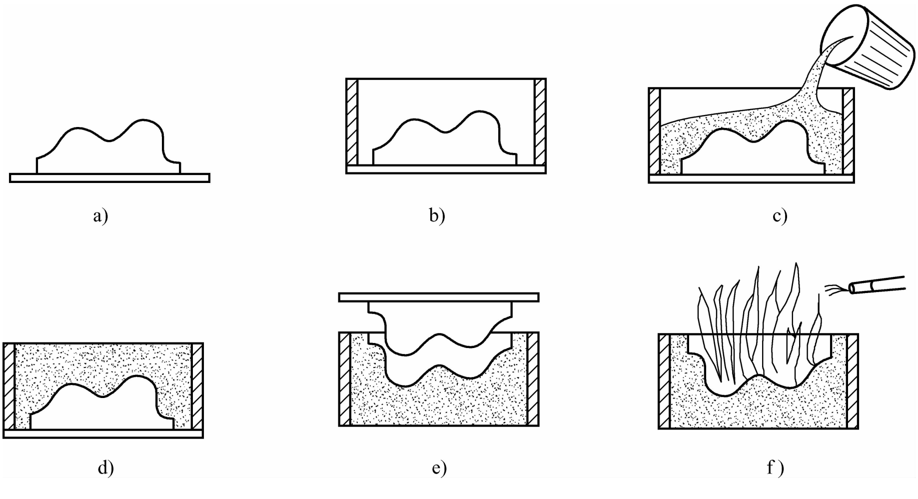


图 10-1　整体陶瓷铸型的成型方法

a）模板　b）放好砂箱准备灌浆　c）灌浆　d）胶凝　e）起模　f）喷烧

整体陶瓷铸型的特点：所用陶瓷浆料太多，使得陶瓷型的透气性小。陶瓷型的型壁太厚，喷烧时容易产生较大变形，并且成本较高。

整体陶瓷铸型适用范围：仅用于制造各种陶瓷芯，或砂型中的陶瓷镶块。

10.1.2　复合陶瓷铸型

复合陶瓷铸型仅在铸型型腔表面薄薄一层用陶瓷浆料,其余部分铸型采用水玻璃砂底套或金属型底套,故又称带底套的陶瓷铸型。复合陶瓷铸型的成型过程如图 10-2 所示。

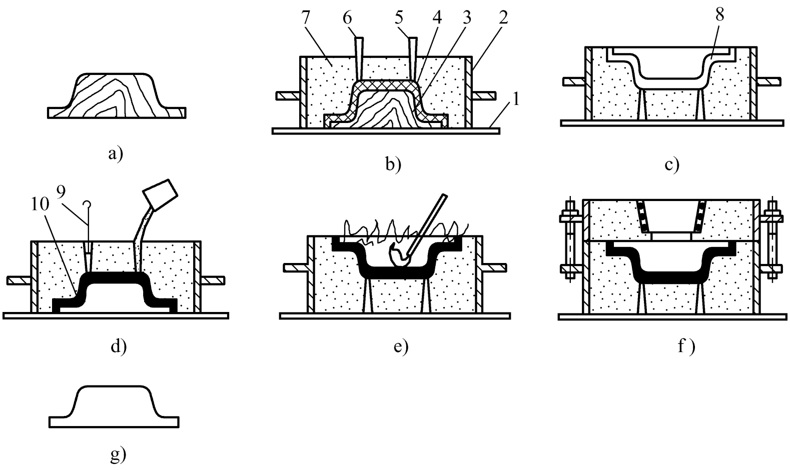


图 10-2　复合陶瓷铸型的成型过程

a）制作精模　b）制作水玻璃砂套　c）起模去掉橡胶泥层　d）灌注陶瓷浆料
e）起模、点火喷烧　f）烘干、合型、浇注　g）清理出合格铸件
1—模板　2—砂箱　3—精模　4—橡胶泥层（或粘土泥层）　5—灌浆孔（ϕ30 ~ ϕ50mm）
6—出气孔（ϕ10mm）　7—水玻璃砂套　8—灌浆空间　9—通气针　10—陶瓷浆层

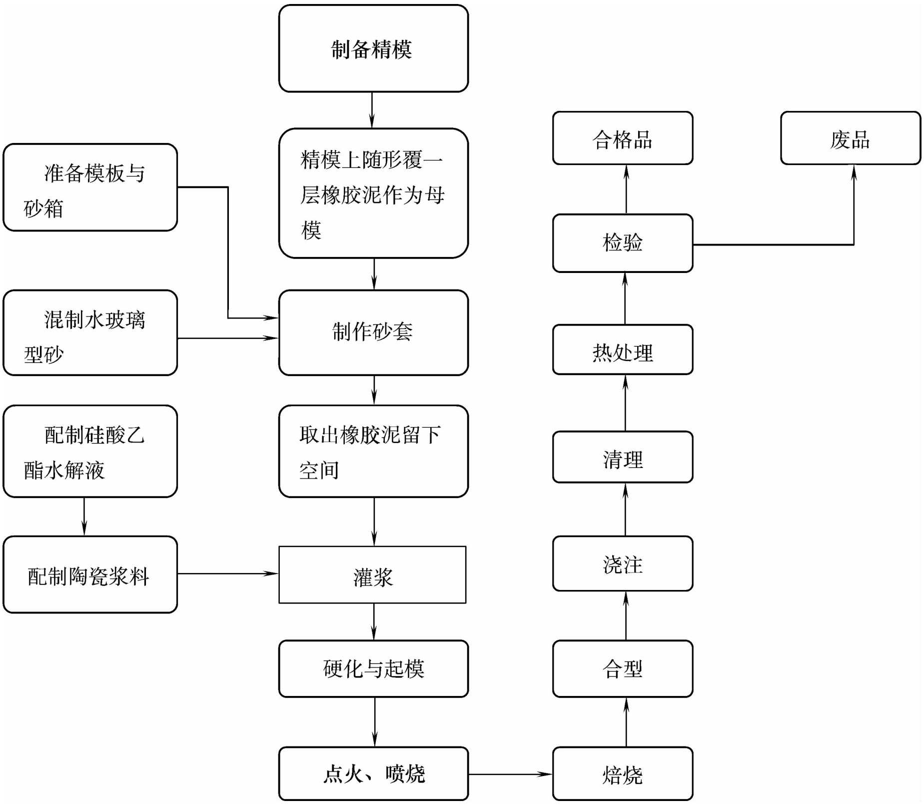


图 10-3　陶瓷型铸造的工艺流程

复合陶瓷铸型的特点：复合陶瓷铸型采用水玻璃砂底套，制作方便，透气性好，成本低，所以，在生产中应广泛使用复合型陶瓷铸型。

10.1.3　陶瓷型铸造的工艺流程

陶瓷型铸造的工艺流程如图 10-3 所示。

10.2　铸件工艺设计

10.2.1　浇注位置和分型面的选择

陶瓷型铸造浇注位置和分型面的选择原则见表 10-1。

表 10-1　陶瓷型铸造浇注位置和分型面的选择原则

铸造工艺方案	选择原则
确定浇注位置	1）重要的加工面应向下或在侧面 2）大平面应处于下部或侧面，以避免夹砂等铸造缺陷 3）薄壁处应置于下部或侧面，以避免浇不到和冷隔缺陷 4）有利于实现所确定的凝固原则
确定分型面	1）尽量采用平直分型面，以方便操作 2）一般取在铸件的最大截面上，但要防止铸件在一箱内过高 3）使重要加工面或大部分加工面与加工基准面在同一砂箱中，最好在下箱中 4）分型面和浇注位置尽量一致，以免合型后再次翻转铸型

10.2.2　工艺参数

1. 陶瓷型铸件的尺寸精度

陶瓷型铸件的尺寸公差等级见表 10-2。陶瓷型铸钢件的尺寸精度见表 10-3。

表 10-2　陶瓷型铸件的尺寸公差等级

合金种类	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	铜合金	铝合金
铸件尺寸公差等级	CT6 ~ CT8	CT6 ~ CT8	CT6 ~ CT8	CT5 ~ CT6	CT5 ~ CT6

表 10-3　陶瓷型铸钢件的尺寸精度

铸件基本尺寸 /mm	尺寸公差数值 /mm	尺寸公差等级	铸件基本尺寸 /mm	尺寸公差数值 /mm	尺寸公差等级
< 50	0.50	CT5	200 ~ 300	1.50	CT7
50 ~ 100	0.70	CT6	300 ~ 400	1.60	CT7
100 ~ 200	0.90	CT6	> 400	2.60	CT8

2. 加工余量（见表 10-4）

表 10-4　陶瓷型铸造的加工余量

铸件加工最大尺寸/mm	加工方法		有浇冒口平面	分型面
	磨　削	抛　光		
	铸件单面加工余量/mm			
≤40	0.2～0.3	0.15	1.5	1
50～100	0.3～0.4	0.20	2.0	2
100～250	0.4～0.5	0.30	2.5	2～3
250～400	0.5～0.7	0.40	3.5～3.5	3～4

3. 铸造斜度（见表 10-5）

表 10-5　陶瓷型造型的铸造斜度

状况	常用	有芯头时	使用专用脱模机械时	具有内孔或较高铸件
铸造斜度	0°30′～3°	3°～7°	0°15′～0°45′	酌量增大

4. 铸造收缩率（见表 10-6）

表 10-6　陶瓷型铸造的收缩率

铸件材质	铸　钢		铸　铁	铸　铝	说　明
	>100mm	<100mm			
铸造收缩率（%）	1.5～2.0	1.8～2.4	0.8～1.2	1.2～1.4	对于零件外形尺寸，取上限；对于内腔尺寸，取下限

10.2.3　母模

1. 母模分类

陶瓷型用母模有四类：①木模；②石膏模；③金属模；④快速模。

（1）木模

1）制作要点。形成型腔部分的木模，选用较致密的麻栗、柳安、楠木、柚木等木材。形成非型腔部分的木模，选用较便宜的东北松、白桦等木材。在木模的表面要喷一层清漆。

2）特点。木模的成本低，制作方便。

3）适用范围。适用于精度和寿命要求不高的单件、小批生产。

（2）石膏模

1）制作要点

①选用高强度或医用石膏（$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$）。

②石膏浆配方（质量分数,%）：石膏 85～95，水泥 10～15，氧化钙 1～1.5，水适量。

③石膏模在 60 ~ 80℃下烘干后，浸蜡处理，或表面喷硝基漆。

2）特点。石膏模的表面粗糙度和尺寸精度好于木模，成型方便，容易修补，成本低。

3）应用范围。适用于批量不大时的情况。

（3）金属模

1）制作要点。采用机械加工的铝模或黄铜模；金属模样的表面刨光或电镀。

2）特点。表面粗糙度值低、尺寸精度高，寿命长，成本高。

3）适用范围。适用于大批量生产。

（4）快速模　快速模是一种新技术，用快速模作母模可大大节约母模制模时间。介绍三种快速成型技术如下。

1）用 SLA 立体光刻法制作塑料原形。SLA 立体光刻法原理如图 10-4 所示。

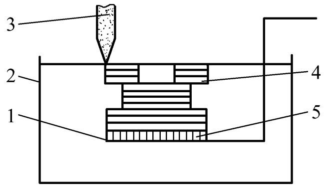


图 10-4　SLA 原理图示
1—支撑平台　2—树脂槽
3—扫描激光　4—固化后
的树脂样　5—支撑层

SLA 立体光刻法的制作要点：把零件从高度方向分成若干层，每层为很薄的截面，支撑平台由上向下移，从件底部做起，用激光选择性打在光敏树脂上，使其固化构成零件的一个薄截面，一层又一层，最终堆积成一个三维实体。塑料原形精度较高，可达 ±0.1%，但成本较高，主要用于单件小批生产。

2）用 SLS 选择性激光烧结法制作塑料原形。SLS 选择性激光烧结法的原理如图 10-5 所示。

SLS 选择性激光烧结法的要点：SLS 选择性激光烧结法是在一个充满氮气的加工室中，将裹有树脂的粉薄薄地分布在底板上，用辊子压平，计算机控制激光烧结粉末，制出模样的一个截面，如此，层层烧结，形成三维塑料原形。所制原形精度不及 SLA 法制的原形，公差达 ±1%，主要用于单件小批生产。

3）LOM 分层实体制造法制作纸原形。LOM 分层实体制造法的原理如图 10-6 所示。

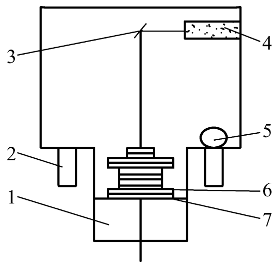


图 10-5　SLS 原理图
1—模样制造箱　2—粉末箱
3—扫描镜　4—激光器
5—辊子　6—模样　7—底板

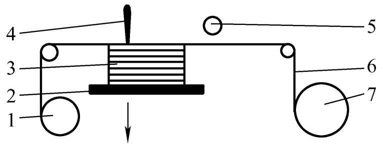


图 10-6　LOM 工艺原理图
1—驱动轮　2—工作台　3—模样
4—激光器　5—加热辊　6—连续
的片板　7—供料的辊子

LOM 分层实体制造法的要点：LOM 分层实体制造法是用纸等薄片材料，在计算机控制下，从模型底部开始，切割出一层的形状，工作台下降，一层层堆积成件，层间用粘结剂粘牢。纸原形精度可达 ±0.1%，成本较低，主要用于单件小批生产。

2. 母模尺寸精度和表面质量

（1）母模的尺寸精度　应高于陶瓷型铸件精度。母模各部分尺寸的精度参考表 10-7。

表 10-7　母模尺寸精度（GB/T 1800.2—2009）

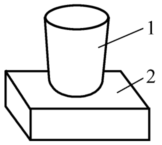
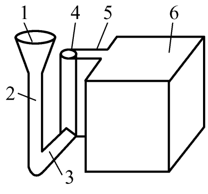
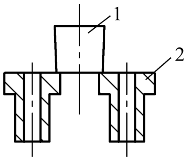
母模各部位特点	零件不需加工的自由面	零件有加工的面	零件不需加工，而由铸件直接保证的工作面
尺寸公差等级	1T9 ~1T11 级	1T8 ~1T9 级	1T7 ~1T8 级

（2）母模表面质量　陶瓷型铸件的表面质量与母膜的表面粗糙度和分型剂有关。有资料表明：不使用分型剂，当母膜表面粗糙度 $Ra = 1.6 \sim 1.7\mu m$ 时，铸型表面和母膜表面粗糙度差值相对较小（$\Delta Ra = 0.38 \sim 0.53\mu m$）；使用合适的分型剂（如聚苯乙烯液），就可明显改善陶瓷型表面质量（$\Delta Ra = 0.04 \sim 0.6\mu m$）。

10.2.4　浇注系统

常见的陶瓷型铸件的浇注系统有三种形式，见表 10-8。

表 10-8　陶瓷型铸件的浇注系统

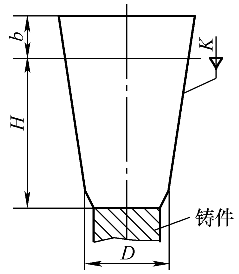
序号	浇注系统形式	图　示	特　点	应　用
1	顶注式	 1—冒口　2—铸件	金属液补缩能力强，但充型时金属液对型的冲击力大，不平稳	适用于小型铸钢件及模具
2	垂直缝隙式	 1—浇口杯　2—直浇道　3—横浇道 4—中间直浇道　5—缝隙浇道　6—铸件	金属液充型较平稳，补缩能力较强	适用于大、中型铸钢件及模具
3	压边式	 1—浇道　2—铸件	金属液补缩效果较好，冲型较平稳	多用于铸铁件

10.2.5 冒口

陶瓷型铸钢模具和铸件采用的圆柱形明冒口见表10-9。

表10-9　铸钢件圆柱形明冒口

D/mm	H/D	K	b/mm
80～260	1.5	1∶10	30～50
270～300	1.2　1.35　1.5	1∶10	50～60
310～400	1.1　1.30　1.5	7.5∶100	60～70
410～600	1.1　1.25　1.4	7.5∶100	70～80
610～1000	0.9　1.05　1.2	7.5∶100	80～90



10.3 造型材料

10.3.1 陶瓷型用原材料

陶瓷型用原材料的种类有：耐火材料、粘结剂、催化剂、分型剂等。

1. 耐火材料

陶瓷型常用耐火材料的成分及性能见表10-10。

表10-10　陶瓷型常用耐火材料的成分及性能

序号	名称	化学成分(质量分数,%)					熔点 /℃	密度 /(g/cm³)	线胀系数 /K⁻¹
		SiO_2	Al_2O_3	ZrO_2	Fe_2O_3	CaO + MgO			
1	硅砂	>97	>2.0	—	<0.5	—	1713	2.65	12.5×10^{-6}
2	刚玉	<0.25	>97	—	<0.15	—	2045	3.95～4.02	8.6×10^{-6}
3	棕刚玉	-5	>94	—	—	—	1900	3.95～4.02	8.6×10^{-6}
4	煤矸石	54～51	41～46	—	1～1.5	0.4～0.8	1700～1790	2.62～2.65	5.0×10^{-6}
5	铝钒土	—	>80	—	0.8～1.4	0.7～0.4	≈1800	3.2～3.4	$(5\sim5.8)\times10^{-6}$
6	莫来石	>67	—	—	—	—	1800	2.8～3.1	5.4×10^{-6}
7	锆砂	<0.30	<33.0	>65.0	<0.4	—	2430	4.7～4.9	4.6×10^{-6}

2. 粘结剂——硅酸乙酯水解液

陶瓷型常用的粘结剂是硅酸乙酯。原硅酸乙酯只有经过水解反应才具有粘结能力。目前国内硅酸乙酯水解液尚未市场化，各厂需自配。自配硅酸乙酯水解液的工艺方法如下：

（1）水解用原材料　硅酸乙酯水解液的原材料见表10-11。

表 10-11　硅酸乙酯水解液的原材料

序号	原材料名称	种　类	作　用
1	原硅酸乙酯	工业硅酸乙酯 32 工业硅酸乙酯 40	水解反应的主体。两种硅酸乙酯性能见表 10-12
2	水	工业蒸馏水	产生水解反应
3	乙醇	工业用	互溶剂和稀释剂
4	盐酸	化学纯	催化剂，也是水解液及陶瓷浆料 pH 值的稳定剂
5	硫酸	化学纯	催化剂，常用于综合水解时；也是水解液及陶瓷浆料 pH 值的稳定剂
6	醋酸	化学纯	水解液 pH 值稳定的缓冲剂
7	硼酸	化学纯	添加剂，提高陶瓷型强度，但用量过多时，则降低耐火度
8	甘油	化学纯	添加剂，提高陶瓷型韧性

硅酸乙酯 32 和硅酸乙酯 40 的性能比较见表 10-12。

表 10-12　硅酸乙酯 32 和硅酸乙酯 40 的性能比较

项　目		硅酸乙酯 32	硅酸乙酯 40
化学成分（质量分数,%）	SiO_2	32. 0 ~ 34. 0	40. 0 ~ 42. 0
	HCl	<0. 04	<0. 015
密度/（g/cm^3）		0. 97 ~ 1. 0	1. 04 ~ 1. 07
运动粘度/（m^2/s）		$\leqslant 1.6\times10^{-6}$	$(3\sim5)\times10^{-6}$
结构组成		以单乙酯为主	主要是四乙酯、五乙酯
平均相对分子质量		248	835
分子构型		线形	线形和枝化
水解反应		相比起来，硅酸乙酯 40 的水解温度比硅酸乙酯 32 低，水解平稳，易于控制	
水解液性能		硅酸乙酯 40 的水解液稳定性优于硅酸乙酯 32，加入相同数量的催化剂时，硅酸乙酯 40 的胶凝时间短，故综合工艺性能优良	
陶瓷型强度/MPa	常温强度	3. 46	2. 96
	高温强度	5	3. 88
	残留强度	3. 36	4. 37

（2）硅酸乙酯水解液

1）硅酸乙酯水解液的配方、水解方法及性能见表 10-13。

表 10-13　硅酸乙酯水解液的配方、水解方法及性能

<table>
<tr><td rowspan="2">原材料</td><td rowspan="2">配方
（体积分数,%）</td><td colspan="4">水解液性能</td></tr>
<tr><td>w（SiO_2）</td><td>w（HCl）</td><td>pH 值</td><td>动力粘度/mPa·s</td></tr>
<tr><td>硅酸乙酯</td><td>55</td><td rowspan="4">17～18</td><td rowspan="4">0.25～3.00</td><td rowspan="4">3～4</td><td rowspan="4"><10</td></tr>
<tr><td>工业乙醇</td><td>35</td></tr>
<tr><td>工业蒸馏水</td><td>10</td></tr>
<tr><td>盐酸</td><td>0.2～0.5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">水解方法
（其操作在不锈耐酸钢板制成的、密封良好的水解器中进行）</td><td>一次水解</td><td colspan="4">将乙醇和水全部加入水解器中，然后加入盐酸和醋酸，在不断搅拌的情况下，以细流加入硅酸乙酯，控制水解液温度 40～50℃（硅酸乙酯 32），或 32～42℃（硅酸乙酯 40）；加完硅酸乙酯后，继续搅拌 30～60min，出料待用</td></tr>
<tr><td>二次水解</td><td colspan="4">加入质量分数为 15%～30% 的乙醇，在搅拌情况下，交替加入 1/3 原硅酸乙酯和 1/3 配制好的酸化水，保持水解液温度在 38～52℃之间，重复上述步骤两次，加完后，继续搅拌 30min，最后，加入混有醋酸的剩余乙醇，继续搅拌 30min</td></tr>
</table>

2）硅酸乙酯水解液许可存在的最长时间见表 10-14。

表 10-14　硅酸乙酯水解液许可存在的最长时间

<table>
<tr><td>季　节</td><td>室温/℃</td><td>允许最长的存放时间/d</td><td>说　明</td></tr>
<tr><td>冬季</td><td>5～15</td><td>14～16</td><td rowspan="3">超过允许存放时间，则粘度大，无法使用</td></tr>
<tr><td>春季</td><td>18～28</td><td>7～8</td></tr>
<tr><td>夏季</td><td>>30</td><td>≈3</td></tr>
</table>

注：有人资料介绍，聚氯化铝（简写 PAC）是一种较好的陶瓷型铸造粘结剂，可代替或减少硅酸乙酯用量。

3. 催化剂

在制作陶瓷型时，为缩短陶瓷浆料的胶凝时间，必须加入催化剂（又称硬化剂）。

（1）水解液 pH 值对胶凝时间的影响　水解液 pH 值在 1.5～2.0 之间时最稳定，pH 值在 5.0～6.0 之间时最不稳定。因此，可加碱性或强酸作催化剂，改变水解液的 pH 值，使浆料迅速胶凝成型。

（2）陶瓷型常用催化剂（见表 10-15）

4. 分型剂

为便于脱模，防止粘膜，在母模表面上涂一层脱模能力较强的分型剂。分型剂又称脱模剂。常用的分型剂较多，其中，聚苯乙烯液的脱模效果最好。各种分型剂的特点见表 10-16。

表 10-15　陶瓷型常用催化剂（硬化剂）

分类	采用催化剂的名称	作　　用	控制凝胶时间/min①	
			大件	中、小件
无机催化剂（国内）	$Ca(OH)_2$、MgO、NaOH、CaO、$Mg(OH)_2$、Na_2CO_3	硅酸乙酯水解液配成的陶瓷浆料需要很长时间才能胶凝。为缩短陶瓷型胶凝时间必须加入催化剂。加入碱性或强酸作催化剂，使浆料迅速胶凝成型	8～15	4～6
有机催化剂（国外）	各种有机胺，如醇胺、环已胺、甲基胺	可提高陶瓷型强度，并改善其起模性能		

① 凝胶时间可用催化剂加入量来调整。

表 10-16　常用分型剂（脱模剂）

序号	种类①	特　点	陶瓷型表面粗糙度 Ra/μm	作　　用
1	聚苯乙烯液	涂覆性能最好，可任意调整粘度，涂层均匀，成膜快，脱模效果好，一次涂膜可供多次、甚至数十次灌浆用	1.9	在母膜表面涂一层脱模能力较强的分型剂，便于脱模
2	各种树脂漆	其脱模作用保持时间长，可作半永久性分型剂；但应使树脂漆膜充分干燥，否则，浆料中的乙醇会使漆层泡胀、剥落，破坏母模的表面质量	3.9	
3	黄油	黄油太稠，难以涂刷均匀	5.1	
4	硅油	硅油有脱模效果，但不易干燥成膜，灌浆时容易把油膜冲掉，从而降低型面的表面质量	5.5	

① 广泛采用的分型剂还有石蜡、石蜡-石墨混合料、白凡士林油、汽车上光蜡、溶有石蜡的变压器油等。

5. 透气剂（见表 10-17）

表 10-17　透　气　剂

类　　别	作　　用
松香、糊精、酚醛树脂、糖浆等	加入的透气剂，在烘干时能烧去，使型内形成细孔的材料
双氧水、碳酸钠等	加入的透气剂，分解时能放出气体而在陶瓷浆料中形成小气孔的材料 安全提示：使用双氧水时，应注意操作安全，不要接触皮肤，以免灼伤

10.3.2　陶瓷型浆料的配方

陶瓷型浆料的配方案例见表 10-18。

表 10-18　陶瓷型浆料的配方案例

<table>
<tr><th>序号</th><th>浆料名称</th><th colspan="4">耐火材料/g</th><th>硅酸乙酯水解液/mL</th><th>催化剂[②]/(g/100mL)</th><th>适用范围</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">硅石浆料</td><td>筛号 270</td><td colspan="2">筛号 50～100</td><td>筛号 30～50</td><td rowspan="2">40</td><td rowspan="2">$Ca(OH)_2$ 0.2～0.4</td><td rowspan="2">中、大件</td></tr>
<tr><td>55</td><td colspan="2">30</td><td>15</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">锆砂浆料</td><td>筛号 270</td><td colspan="2">筛号 100～200</td><td>筛号 20～40</td><td rowspan="2">25～35</td><td rowspan="2">$Ca(OH)_2$ 0.35</td><td rowspan="2">中、大件</td></tr>
<tr><td>65</td><td colspan="2">25</td><td>10</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">煤矸石浆料</td><td>筛号 270</td><td>筛号 200</td><td>筛号 70～100</td><td>筛号 30～60</td><td rowspan="2">31～35
(硅酸乙酯40水解液)</td><td>$Ca(OH)_2$ 0.1～0.2
MgO 1～2</td><td rowspan="2">中、大件</td></tr>
<tr><td>30</td><td>30</td><td>30～40</td><td>10～5</td><td>有机催化剂
2～10mL</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">铝钒土浆料</td><td>筛号 270</td><td>筛号 200</td><td>筛号 70～100</td><td>筛号 30～60</td><td rowspan="2">31～35
(硅酸乙酯40水解液)</td><td>$Ca(OH)_2$ 0.1～0.2
MgO　1～2</td><td>大件</td></tr>
<tr><td>30</td><td>30</td><td>30～40</td><td>10～5</td><td>$Ca(OH)_2$ 0.4～0.6</td><td>中、小件</td></tr>
<tr><td rowspan="4">5</td><td rowspan="4">刚玉浆料</td><td>W28[①]</td><td>筛号 320</td><td>筛号 180</td><td>筛号 60</td><td rowspan="2">37～40</td><td rowspan="2">$Ca(OH)_2$ 0.40</td><td rowspan="2">中、小件</td></tr>
<tr><td>50</td><td>—</td><td>30</td><td>20</td></tr>
<tr><td>25</td><td>25</td><td>30</td><td>20</td><td>37～40</td><td></td><td>中、小件</td></tr>
<tr><td>—</td><td>50</td><td>30</td><td>20</td><td>40</td><td></td><td>大件</td></tr>
</table>

注：1. 为提高陶瓷浆料的透气性，可在 100g 耐火材料中加 0.3g 双氧水。

2. 为防止陶瓷型开裂，可加入质量分数为 10% 甘油-硼酸溶液，如每 100mL 水解液加入质量分数为 3%～5% 的甘油-硼酸溶液。

3. 煤矸石浆料、铝钒土浆料使用的是硅酸乙酯 40 水解液。

① W28 是磨料行业粒度标准。

② 催化剂加入量是指 100mL 硅酸乙酯水解液中加入的克数。

10.3.3　浆料制备工艺

陶瓷型浆料的制备工艺见表 10-19。

表 10-19　陶瓷型浆料的制备工艺

序号	工　序	操 作 要 点
1	粉料干混成混合料	按配方要求比例称量，先将“耐火材料＋粉状催化剂”干态下混合成均匀的混合料
2	“附加物＋水解液”→容器	再将附加物倒入水解液中，最后，将备好的水解液倒入容器中
3	“混合粉料→容器”＋搅拌→浇灌	将混合的粉料倒入容器中，同时不断搅拌。当浆料粘度开始增大出现“凝胶苗子”时，立即浇灌 凝胶时间可用催化剂加入量来调整，小件可控制在 4～6min，中、大件控制在 8～15min 较合适

（续）

序号	工　　序	操 作 要 点
4	浆料质量与灌浆时段的控制	1）浆料质量：应注意浆料中的耐火材料无沉淀现象 2）灌浆过早，容易冲走母膜表面的脱模剂，引起粘膜；灌浆后浆料凝固时间长，耐火材料容易沉淀，铸型易裂 3）灌浆太迟，浆料流动性太差，铸型内腔轮廓不清晰

10.4　造型工艺

陶瓷型造型工艺按以下工序操作：准备母模和配制陶瓷型浆料→制作砂底套→灌浆→起模→喷烧→焙烧→合型→浇注→清理。

10.4.1　各工序的操作方法

陶瓷型铸造工艺各工序的操作方法见表 10-20。

表 10-20　陶瓷型铸造工艺各工序的操作方法

<table>
<tr><th>序号</th><th>工　序</th><th>工艺操作方法</th></tr>
<tr><td>1</td><td>准备母模</td><td>母模外形和铸件一样。其几何尺寸要精确，木材质量要好，变形要小。最好采用金属型，其表面粗糙度要在 $Ra=3.2\mu m$ 以下</td></tr>
<tr><td>2</td><td>制造砂套</td><td>
1）砂套的模样是在母模上随形包覆一层木板、橡胶板、湿粘土层或橡胶泥层形成。砂套采用水玻璃砂，水玻璃砂采用二氧化碳或有机质硬化。其配方见下表：
陶瓷型砂套用水玻璃砂配方
<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th colspan="5">配方（质量比）</th><th rowspan="2">硬化方式</th></tr>
<tr><th>硅砂（筛号 20/40）</th><th>硅砂（筛号 12/20）</th><th>水玻璃（$M=2.4$）</th><th>膨润土</th><th>柴油</th></tr>
<tr><td>1</td><td>50</td><td>50</td><td>7～8</td><td>1～2</td><td>0.5</td><td>CO_2 硬化</td></tr>
<tr><td>2</td><td>50</td><td>50</td><td>4～5</td><td>—</td><td>0.5</td><td>有机酯硬化</td></tr>
</table>
2）制造砂套的模样，在尺寸上比母模大一个陶瓷层厚度。陶瓷型灌浆厚度见下表：
陶瓷型灌浆厚度　（单位：mm）
<table>
<tr><th>序号</th><th>铸造合金</th><th>中、小铸件</th><th>大铸件</th></tr>
<tr><td>1</td><td>铸钢</td><td>8～10</td><td>10～15</td></tr>
<tr><td>2</td><td>铸铁</td><td>6～8</td><td>8～12</td></tr>
<tr><td>3</td><td>铸铜</td><td>6～8</td><td>8～12</td></tr>
<tr><td>4</td><td>铸铝</td><td>5～7</td><td>8～10</td></tr>
</table>
3）砂套造型时，模样在模板上要定位，以使灌浆料时模样周围陶瓷层厚度均匀
4）作砂套时，在模样最高点处设置 $\phi30\sim\phi50mm$ 的灌浆口，在灌浆口最远处，按排气顺序设置若干个 $\phi10mm$ 的出气孔
</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th>工　序</th><th>工艺操作方法</th></tr>
<tr><td>3</td><td>灌浆</td><td>先将母模在造型型板上定位，母模表面刷脱模剂，放置砂箱，放上通气棒，然后，再调配浆料，灌浆
配制浆料操作（操作者戴上耐酸胶手套）：
1）按比例将硬化剂（氢氧化钙）加到耐火材料中，均匀混和1～2min
2）再将透气剂（双氧水）倒入水解液中
3）然后，将备好的水解液倒入灌浆桶中，加入耐火材料，并不断搅拌。控制凝胶时间，在“凝胶苗子”时段立即浇灌
实践显示，当浆料粘度突然增大，耐火材料悬浮不再下沉，浆液不再有大量气泡逸出，手工搅拌感到有阻力时，立即灌浆
4）灌浆后，1～2min应硬化</td></tr>
<tr><td>4</td><td>起模</td><td>1）浆料凝固后，用手轻轻按，手感有弹性时（若用砂型硬度计测试硬度达80～90时），即可起摸
2）起模时间一般约等于2倍凝胶时间
3）起模操作，不允许上下左右敲打母模。当起模力较大时，最好采用专用起模机械，以便母模平稳取出</td></tr>
<tr><td>5</td><td>喷烧</td><td>起模后，立即点火喷烧陶瓷型腔，直至火焰熄灭为止，使整个陶瓷型表面形成均匀密布的乙醇挥发气道，冷却后，留下均匀密布的网状纤维裂纹，使自由膨胀和收缩有了间隙，便于承受热冲击，以便冷浇
“立即喷烧工艺”的陶瓷型尺寸变化率最小、陶瓷型强度最大</td></tr>
<tr><td>6</td><td>焙烧</td><td>焙烧目的是去除陶瓷型中残余的酒精等物质；使硅酸胶体脱水；完成铸型结构
焙烧温度越高，则陶瓷型强度越高。如焙烧100℃时陶瓷型强度为6.5MPa，800℃时强度提高到9.5MPa。焙烧工艺如下表：
陶瓷型焙烧工艺
<table>
<tr><th rowspan="2">铸件材质</th><th rowspan="2">升温速度/（℃/h）</th><th rowspan="2">焙烧温度/℃</th><th colspan="2">保温时间/h</th><th rowspan="2">出炉温度/℃</th></tr>
<tr><th>小件</th><th>中、大件</th></tr>
<tr><td>铸钢</td><td>100～200</td><td>>600</td><td rowspan="4">1～3</td><td rowspan="4">6～8</td><td rowspan="4">尽量低，以免产生大裂纹</td></tr>
<tr><td>铸铁</td><td>100～200</td><td>>500</td></tr>
<tr><td>铸铜</td><td>100～200</td><td>450～500</td></tr>
<tr><td>铸铝</td><td>100～200</td><td>350～450</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>合型</td><td>1）与砂型造型操作相同
2）为防止铸钢件表面氧化脱碳，合型前，可在型腔表面喷一层薄而均匀的乙炔炭黑；或喷一层密度为1.2～1.4g/cm³的酚醛树脂酒精溶液</td></tr>
</table>

10.4.2　专用起模装置

起模时需要的起模力较大，又不允许上下左右敲击母模，为便于母模平稳取出，应采用专用的起模装置。常用的专用起模装置有两种：螺旋双钩起模器和螺钉起模器，其结构分别如图10-7、图10-8所示。

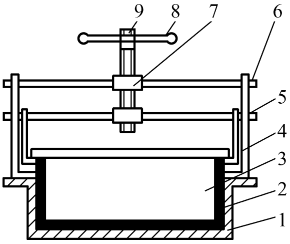


图 10-7　螺旋双钩起模器
1—砂底套　2—陶瓷型　3—模样
4—起模钩　5—滑动臂　6—支架
7—螺母　8—旋柄　9—螺杆

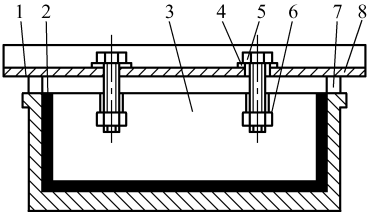


图 10-8　螺钉起模器
1—砂底套　2—陶瓷型　3—模样
4—垫圈　5—起模螺钉　6—螺母
7—垫块　8—角铁架

10.5　浇注与清理

一般合金流动性好的，采用冷型浇注。冷型浇注有利于提高铸件力学性能，可以减轻铸钢件的表面脱碳现象。对于形状复杂的铸件和合金流动性差的，采用热型浇注。

对于陶瓷型铸造的合金钢模具，在打箱后需要进行热处理，以消除铸件内应力，细化晶粒，降低硬度，提高力学性能。

陶瓷型的浇注与清理要点见表 10-21。

表 10-21　陶瓷型的浇注与清理要点

序号	工序	操 作 要 点
1	浇注	陶瓷型铸造的浇注温度高于砂型铸造浇注温度 30 ~ 40℃，浇注速度要快 1）流动性差的合金如合金铸钢，一定要热型浇注，型温控制在 160 ~ 200℃，采用快速浇注；流动性好的合金如铸铁，薄壁件的型温控制在 120℃左右，厚壁件可在常温下浇注 2）对较厚的铸钢件，可采用“氮气保护”浇注，以防止表面脱碳
2	清理	1）控制铸件温度尽量低温（ <200℃）开型，取出铸件，以防变形、裂纹 2）采用手工和机械配合，进行铸件表面清理 3）各种合金钢模具应进行必要的热处理，以消除应力、细化晶粒、降低硬度、改善组织、提高力学性能

10.6　陶瓷型铸件缺陷及技术解决方案

陶瓷型铸件的常见缺陷、产生原因及技术解决方案见表 10-22。

表 10-22 陶瓷型铸件的常见缺陷、产生原因及技术解决方案

序号	缺陷名称	原 因 分 析	技术解决方案
1	毛刺	1）陶瓷型强度低或浆料“脱液收缩”过大造成陶瓷层开裂，原因如下： ①硅酸乙酯水解液配方不正确 ②水解液存放时间太短或太长 ③浆料配比不正确，耐火材料细分部分过细、过多，或硅酸乙酯水解液用量过多	1）提高陶瓷型强度，防止浆料“脱液收缩”过大，防止陶瓷层开裂，具体方案如下： ①严格控制水解液的配方和水解工艺 ②正确选择浆料的原材料和配方
		2）起模不合适，造成陶瓷层开裂 ①起模时间不当，起模过早或过晚 ②起模前振动不适当	2）起模时间要适当，起模前切忌不适当振动
		3）喷烧工序不当造成陶瓷层开裂 ①脱模后未及时喷烧 ②喷烧时燃烧不均匀，致使陶瓷型内应力过大	3）脱模后，立即喷烧，并注意燃烧的均匀性
		4）浆料层厚薄不均匀或砂套耐火材料尺寸稳定性差引起陶瓷层开裂	4）陶瓷层厚度应均匀，所选用的砂套耐火材料尺寸稳定性要好
2	铁豆	陶瓷浆料中含气，灌浆时气体没逸出。具体原因如下： 1）硅酸乙酯水解液粘度过大 2）浆料配方不当，耐火粉料过多、过细 3）催化剂与水解液反应生成气体 4）浆料加料次序不正确，凝胶时间过短 5）灌浆时砂底套未开设出气孔	减少陶瓷浆料中含气量，灌浆时尽量让气体逸出。解决方案如下： 1）严格控制水解液的粘度 2）选择合理的浆料配方和耐火材料粒度 3）合理选择催化剂，防止与水解液反应 4）采用正确的加料次序，混制浆料 5）灌浆时或前，对浆料进行抽真空或微振，以除去气体 6）砂底套要开设出气孔
3	尺寸超差	1）母模的尺寸精度达不到要求或铸造收缩率选择不当	1）正确选择母模的材质、尺寸精度、铸造收缩率
		2）陶瓷型有裂纹和变形，其尺寸不精确。原因分析如下： ①水解液质量不好 ②浆料质量不好 ③起模时间不合适 ④起模后没有立即喷烧 ⑤底套耐火材料的尺寸稳定性差 ⑥陶瓷浆料层各处不均匀	2）防止陶瓷型裂纹和变形，保证陶瓷型尺寸精度。解决方案如下： ①严格控制水解液的成分、水解工艺、停放时间 ②严格控制浆料中各种原材料的质量、配方和混制 ③起模时间要合理，起模前切忌振动 ④起模后，立即喷烧 ⑤砂套用耐火材料的尺寸稳定性要好 ⑥陶瓷层各处应尽量均匀

（续）

序号	缺陷名称	原 因 分 析	技术解决方案
3	尺寸超差	3）浇注和打箱工艺不够合理，影响陶瓷尺寸	3）浇注和打箱工艺应合理。解决方案如下： ①对精度要求高的铸钢件，要在氮气保护下浇注，或采用其他措施 ②对导热性较差的合金钢铸件，应晚一些打箱，以防开箱太早，造成铸件变形
4	铸件表面粗糙	1）母膜表面粗糙	1）保证母膜表面质量
		2）分型剂选择不当	2）正确选择分型剂
		3）陶瓷型表面粗糙，具体原因如下： ①水解液质量不佳，粘度过大 ②浆料质量不好，流动性差 ③起模不当，造成陶瓷型表面质量不佳 ④起模后未及时喷烧	3）保证陶瓷型表面质量。解决方案如下： ①严格控制水解液的配方、工艺操作和停放时间，防止水解液粘度过大 ②严格控制浆料用原材料质量、配方、混制工艺 ③正确选择灌浆时间 ④正确掌握起模时间 ⑤起模前，切忌振动 ⑥起模后，立即喷烧
		4）浇注工艺不合理	4）选用合理的浇注工艺方案 ①浇注时陶瓷型温度、金属液浇注温度和压头应稳定、合理 ②对于一些合金应在保护气氛下浇注

第 11 章　负压（V 法）造型

负压（V 法）造型又称“真空密封造型或减压造型”。是借助真空压力将加热呈塑性的塑料薄膜覆盖在模样和模板上，向砂箱内填入无粘结剂的干砂，再用塑料薄膜将砂型顶面封住，抽真空，使型砂紧实、起模、下芯、合型、浇注、直至凝固得到铸件的铸造方法。

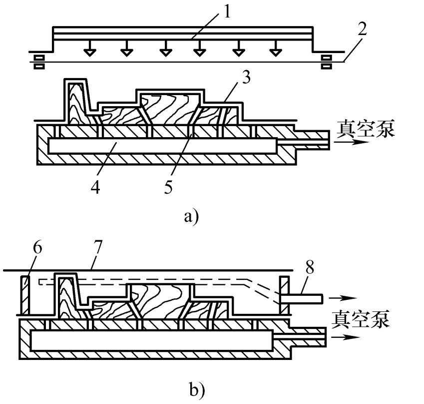
负压造型特点：①铸件轮廓清晰、表面光洁、尺寸精度高；②型砂中无粘结剂、水和附加物，简化了砂处理工序；③铸件清理方便，劳动强度低，劳动条件好；④浇注过程的有害气体少，容易实现清洁生产；⑤对设备和操作技能要求较严。

应用范围：负压造型适用于铸钢、球墨铸铁、灰铸铁、铝合金等铸件小批或大批量生产。尤其是大、中型精密、薄壁铸件的生产。

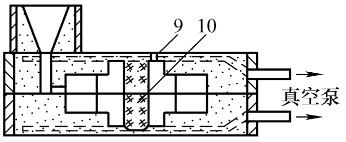
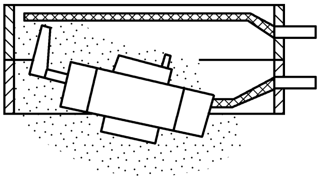
11.1　工艺过程

负压造型工艺过程见表 11-1。

表 11-1　负压（V 法）造型工艺过程

序号	工序及操作方法	简　图
1	制造带有抽气箱和抽气孔的模板	 a）覆膜成型　b）填砂、抽真空紧实 1—发热元件（远红外线板）　2—塑料薄膜加热位置 3—塑料薄膜加热后成型　4—抽气箱　5—抽气孔 6—金属砂箱　7—密封用塑料薄膜　8—过滤抽气管
2	将模样固定在中空的模底板上	
3	用加热器使塑料薄膜软化，并覆盖在模板上	
4	真空泵抽气（真空度 27 ~ 54kPa），使薄膜贴在模板上成型	
5	将特制的带有过滤抽气管的夹层砂箱置于模板上	
6	向砂箱内充填干砂，并借震实台微震	
7	刮平铸型上平面，并覆盖塑料薄膜，压出浇口杯	

（续）

序号	工序及操作方法	简　　图
8	从砂箱抽真孔（真空度 27～54kPa），使砂型内外压力差达 40～53kPa，砂型逐渐紧实，具有较高的硬度 砂型硬度可达 90～95	 c)
9	去除模板的真空度，进行起模	
10	同样方法造下型。造好下型后，可合型浇注（真空度 40～66kPa），抽真空要持续到铸件完全凝固	 d)
11	解除真空，砂型自行溃散，完成落砂及清理工作	c）下芯、合型、浇注　d）解除真空、落砂、取铸件 9—通气道　10—型芯

11.2　工艺设计

1. 浇注位置和分型面

负压造型通常采用水平造型、垂直浇注的工艺方案。水平分型造型时，细长的直浇道、冒口和出气孔模样均平放在模板上，覆膜容易、操作方便；垂直浇注方案，能保证冒口、出气孔在铸型上端，有利于铸件的补缩和排气。

如果铸件结构要求采用水平浇注，则细长的直浇道、冒口和出气孔模样表面上，先包覆塑料薄膜，并与型腔的薄膜紧贴，如果贴的不牢，薄膜之间有缝隙存在，则浇注时很容易塌箱。

为防止金属液长时间烘烤薄膜，对平面大的铸件，可采用倾斜浇注工艺。

2. 浇注系统

负压造型都要采用底注开放式浇注系统，或半开放式的浇注系统。浇注时，要始终保持金属液充满直浇道，快速、平稳地充满型腔。

3. 冒口设计

负压造型的冒口起补缩、通气、排渣的作用。明冒口尽量安排在铸件浇注位置的最高处。复杂铸件的冒口，可设置在远离内浇道的部位，以利于排渣。

4. 冷铁

负压造型借用真空吸力安放冷铁。一般在覆膜成型和喷刷涂料之后安放冷铁。冷铁要在距离薄膜一定距离处放置。大块冷铁可以钻些孔，或开些沟、槽，以增加对表层砂的吸力。

5. 出气孔

负压造型型腔的顶部要设出气孔，以通气和排渣。出气孔的截面积 = $\frac{1}{2}$内浇道总截面积。出气孔的厚度 = $\frac{2}{3}$铸件壁厚。采用水平分型时，一般将出气孔引离铸件本体之外，而不直接安放在铸件上，以提高铸件表面质量。

6. 铸型紧缩负余量

铸型紧缩是负压造型固有的特性，它是由真空吸力作用而形成的。铸型紧缩使型腔尺寸大于模样尺寸，影响铸件的尺寸精度。因此，在制作模样时，应减去紧缩量。铸型紧缩负余量一般为 0.5 ~ 0.7mm。

为避免铸型紧缩使铸件在分型面处产生飞翅，可在模板与砂箱之间安放一个 2mm 厚的橡皮垫。

7. 真空度及抽气量

负压造型各工序要求的真空度和抽气量见表 11-2。

表 11-2　负压（V 法）造型各工序要求的真空度和抽气量

序号	工序	要求的真空度/kPa	单位砂箱体积抽气量/（m^3/min）
1	覆膜、造型时	27 ~ 54	3 ~ 4
2	浇注时	40 ~ 66	9 ~ 11

11.3　基本设备及工装

负压（V 法）造型系统的设备和工装见图 11-1、图 11-2、表 11-3 和表 11-4。

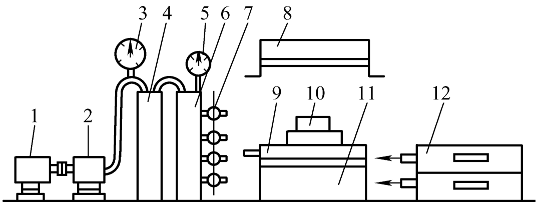


图 11-1　负压（V 法）造型系统

1—电动机　2—水环式真空泵　3—真空表　4—滤气罐　5—真空表　6—分配罐　7—抽气支管　8—薄膜加热器　9—模板　10—模样　11—震实台　12—砂箱

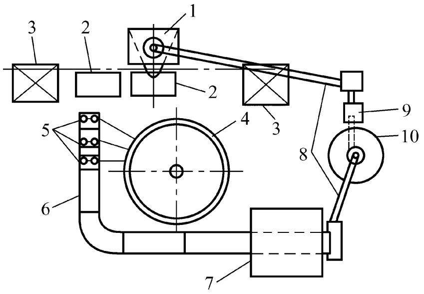


图 11-2　负压（V 法）造型系统设备布置图

1—砂斗　2—抽气箱台车　3—塑料薄膜加热器　4—真空系统　5—砂箱　6—辊道输送器　7—带式输送器砂斗　8—气送管路　9—冷却器　10—砂分离器

表 11-3　负压（V 法）造型主要设备

序号	设备	功　　能
1	塑料薄膜加热器	1）采用远红外线加热器。能保证塑料薄膜加热均匀，并能准确控制加热温度 2）塑料薄膜软化成型温度为100℃左右 3）加热器附设吸附薄膜的起落装置。当薄膜达到加热温度后，起落架带动薄膜下降，接近模样表面，在负压下覆膜
2	真空系统	1）此系统，保证在几秒钟内抽掉震实紧实后砂型中的空气，并在起模、合型、浇注乃至铸件冷凝过程中保持砂型内一定的真空度 在浇注过程中，由于金属液的热辐射使塑料薄膜受热汽化，砂箱漏气量增加，因此，真空泵系统仍要保持一定的真空度，以保证砂型维持原样，不溃散 2）此系统主要包括：水环式真空泵、气水分离器、砂分离器、真空调节阀、单向阀、水泵等
3	铸型震实台	1）砂型紧实度是在震动台上进行的 2）程序：模样、模板置于抽气箱上→真空覆膜→放置砂箱→填入干砂→起动震实台，紧实砂型
4	铸型输送装置	采用辊道输送器
5	型砂冷却设备	1）采用箱式冷却器 2）箱内设置数十根冷却水管,压缩空气从底部吹入空气室,通过滤布进入箱内,使型砂“沸腾”流动,与冷水管进行对流式热交换,以达到砂降温目的 3）型砂进出口高度差，由调整出口插板高度来形成，使型砂移向出口，起到运输作用 4）冷却器上设有除尘机，排除型砂中的粉尘

表 11-4　负压（V 法）造型的主要工装

序号	工　　装	特　　点
1	模样与模板	1）在模样和模板上，开设出一定数量、直径0.8～2mm、孔距20～50mm的通气孔和抽气箱相通，抽真空时，将塑料薄膜吸附在模样和模板上 2）不留或少留起模斜度 3）模样可用较软的材料制作
2	砂箱	1）特制砂箱。是在一般砂箱的功能上，增加在砂型内形成真空的功能 2）根据抽气方式不同，砂箱分为：侧吸式、背吸式、管吸式三种

11.4　主要原材料

11.4.1　负压造型用塑料薄膜

负压造型对塑料薄膜的基本要求、分类及选用见表 11-5。塑料薄膜的力学性能见表 11-6。

表 11-5　负压（V 法）造型对塑料薄膜的基本要求、分类及选用

按使用分类	作用及选用	基 本 要 求
型腔薄膜（V 密封膜）	1）采用“乙烯-醋酸乙烯”共聚物薄膜（EVA）作型腔薄膜。其厚度为 0.05 ~ 1.0mm，最终厚度能减到 0.005mm 左右 2）经加热软化后，借助负压吸附在模样上	1）应具有良好的延展性，表面不应有伤痕、杂物、气泡 2）延展成型时，热应力要少，没有弹性，不能回到原来的状态 受热分解时，产生的气体少，无毒、无味、灰分少
背膜	1）背模几乎不受热的影响，不必选用高质量的 EVA 薄膜，一般选用农用聚乙烯薄膜（EP） 2）用于砂箱背面的密封	

注：我国武汉、南京、北京有生产负压（V 法）造型专用 EVA 塑料薄膜。

表 11-6　塑料薄膜的力学性能

序号	种类	厚度/mm	抗拉强度/MPa		伸长率（%）	
			纵向	横向	纵向	横向
1	EVA（国产）	0.060 ~ 0.130	23.1	21.6	825.4	874.2
2	EVA（国产）	0.100 ~ 0.135	19.7	20.1	777.6	794.0
3	EVA（日产）	0.110 ~ 0.120	26.0	25.0	587.8	801.8
4	EVA（日产）	0.080 ~ 0.120	22.7	22.7	495.5	523.0
5	EP（国产）	0.040 ~ 0.052	14.4	17.2	445.8	568.6

11.4.2　负压造型用型砂

负压造型用型砂见表 11-7。

表 11-7　负压（V 法）造型用型砂

铸件材质	原砂及粒度（筛号）	粒形	影 响 因 素
非铁合金	细硅砂，140/200	选用次棱角形更好。不可太圆整，但不用尖角形	1）原砂质量影响型砂的强度、真空抽气量、铸件表面粗糙度 2）负压造型采用干砂，发气量小，加上浇注过程不断抽气，砂型的排气能力强。此外，由于真空作用，金属液容易被吸入砂粒的空隙中，造成机械粘砂。因此，选用细粒砂，以获得表面光洁的铸件 3）型砂反复使用，要定期补加新砂，调整型砂的粒度
铸铁	细硅砂，100/150		
铸钢	硅砂，以 65、100、150 号筛砂为主		
锰钢（如道岔、颚板）	镁橄榄石砂，150 号筛		

11.4.3　负压造型用涂料

负压造型用涂料的配方见表 11-8。负压造型涂料的使用、要求见表 11-9。

表 11-8　负压（V 法）造型用涂料的配方（质量比）

序号	硅石粉	镁砂粉	锆砂粉	刚玉粉	石墨粉	鳞片石墨	膨润土	粘土	酚醛树脂	活性剂 B	润湿剂	乌洛托品（对树脂）	工业乙醇或甲醇	适用范围
1	—	100	—	—	—	—	1~5	—	2~5	0.01~0.1	0.01~0.1	8~15	适量	高锰钢件
2	—	—	70~85	15~30	—	—	1~5	1	2~5	0.05~0.1	0.01~0.1	8~15	适量	碳钢、合金钢件
3	60~80	—	—	—	15~30	5~10	2~5	1	2~5	0.05~0.1	—	8~15	适量	铸铁件

表 11-9　负压造型涂料的使用、要求

使用方法	造型时，在覆膜成型后，放置砂箱填砂前，在型砂一侧的塑料薄膜表面上刷涂料，尤其是厚大的铸铁件、铸钢件更为必要
性能要求	1）具有一般涂料性能 2）具有对塑料薄膜足够的附着力，不流淌、不开裂、快速干燥等特性

11.5　水泵铸铁叶轮的负压造型

11.5.1　叶轮铸造工艺设计

1. 工艺技术方案

铸铁水泵叶轮的材质 HT200，净重 13.4kg。采用水平造型、垂直浇注工艺、一箱布置两件的工艺方案。机器造型。

2. 造型原砂

选用大林砂，筛号 70/140。刷自制涂料。

3. 塑料薄膜

型腔薄膜，选用国产 EVA 塑料薄膜；砂箱背膜，选用 EP 塑料薄膜。

4. 模板装配图（见图 11-3）

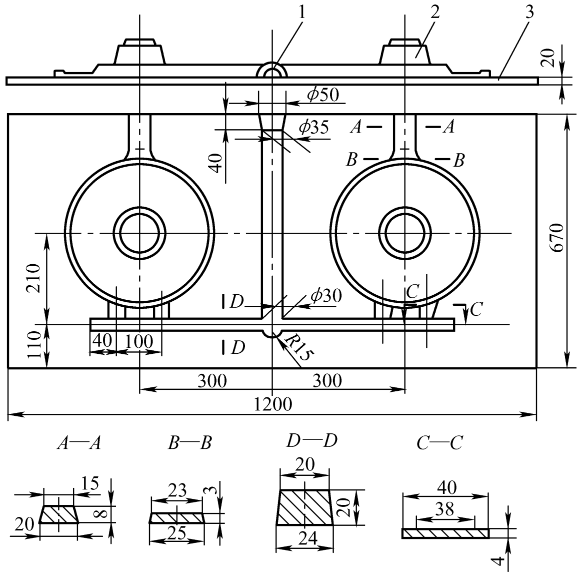


图 11-3　叶轮铸件模板装配图

1—木制浇注系统　2—铝制模样　3—铝制模板

注：模板和模样钻透孔 ϕ8mm，间距 50mm 按平面布置。

5. 铸型装配图（见图 11-4）

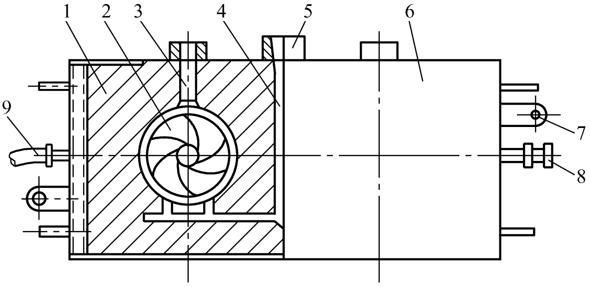


图 11-4　叶轮铸件铸型装配图

1—型腔膜和砂型　2—砂芯　3—出气孔　4—浇注系统

5—浇口杯　6—背膜和砂箱　7—定位销孔

8—橡胶板　9—真空管

11.5.2　叶轮铸件负压铸造生产的工序操作

1. 工装准备

1）安装模板。将上、下模板分别安装在二工位造型机的模板框内，检查模板和模样上的出气小孔是否畅通。

2）将厚 2mm、宽 50 ~ 60mm 胶板，铺在模板的四周，并用胶布带粘牢。

3）在模板和模样表面上，均匀地撒一层滑石粉脱模剂。

2. 覆膜操作及质量检查

1）烘烤型腔塑料薄膜，当薄膜加热到镜面光洁程度时，落下起落架，打开真空阀门（真空度控制在28kPa左右），进行负压覆膜。

2）检查覆膜质量。如有棱角不清晰、皱折太大，会影响铸件表面质量时，要重新覆膜。

3）刷涂料。在薄膜上刷涂料，并吹干。

3. 造下箱砂型及质量检查

1）放置下砂箱于模板上，开始转台，旋转到180°到加砂工位，进行震动填砂，刮平砂箱顶面，转回第一工位。

2）放上背膜；砂箱插上抽气管抽真空；同时，切断模板上的真空。

3）用桥式起重机慢慢吊起砂箱起模，将砂箱翻转，平放在合型位置。

4）检查成型质量。如箱口平整、尺寸准确、砂型硬度在85以上，则可使用。

5）吹掉薄膜上的浮砂和滑石粉，并在砂型上的芯座部位扎出 ϕ2mm ~ ϕ3mm 的气孔，间距40 ~ 50mm，均匀分布。

6）下芯操作。下芯时，不要擦破薄膜，摆正砂芯后，用手按压芯头周围3 ~ 4点砂型，以固定砂芯。

4. 造上箱砂型

用上述方法，制作上箱砂型。

5. 合型

立起砂箱，浇道口朝上，推向辊道，放上浇口杯和出气孔圈，用泥条封住，等待浇注。

6. 浇注

1）浇注时，挡住渣。对准浇口杯，使铁液快速、平稳充填型腔。如有铁液溅到背膜表面，应立即加以型砂埋上，然后，再覆一块背膜密封。

2）浇注温度为1380℃。

3）浇注时间为8 ~ 10s。

7. 清理

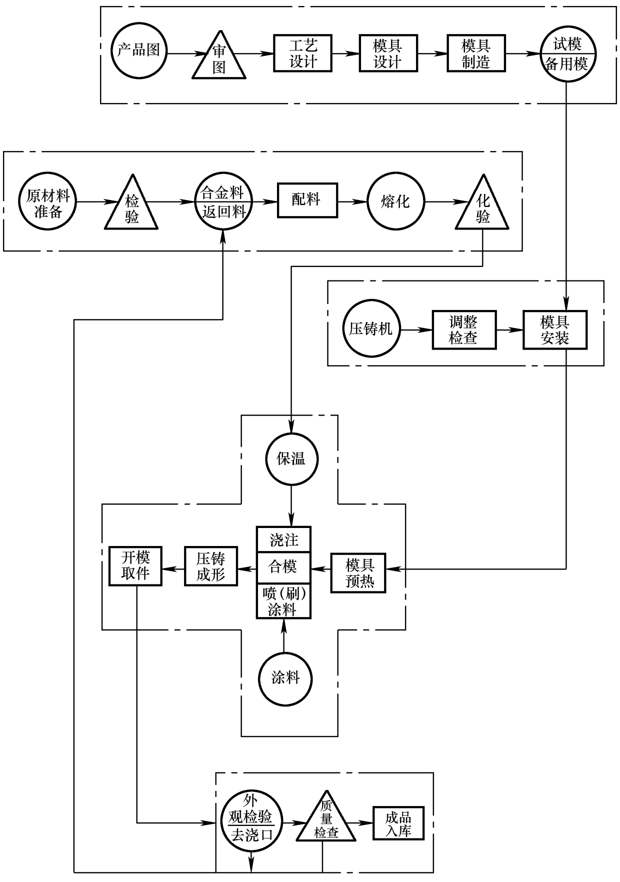
浇注后，保持20 ~ 30min，切断铸型真空，打箱清理铸件。

第 12 章　压 力 铸 造

压力铸造（简称压铸），是将熔融金属在高压下高速压入精密金属模的型腔内，并在压力下快速凝固而获得铸件的一种铸造方法。压铸时常用压力高达几十至数百兆帕，流速高达0.5～70m/s，充型时间极短（0.1～0.2s），因此，高压、高速是压力铸造的两大特点，又是压力铸造与其他铸造方法的根本区别。

压力铸造的工艺流程见表 12-1。

表 12-1　压力铸造的工艺流程

序号	生产阶段	工艺流程图示
1	模具制造	
2	合金熔化	
3	压铸准备	
4	压铸工程	
5	清理检验	

压铸过程循环如图12-1所示。

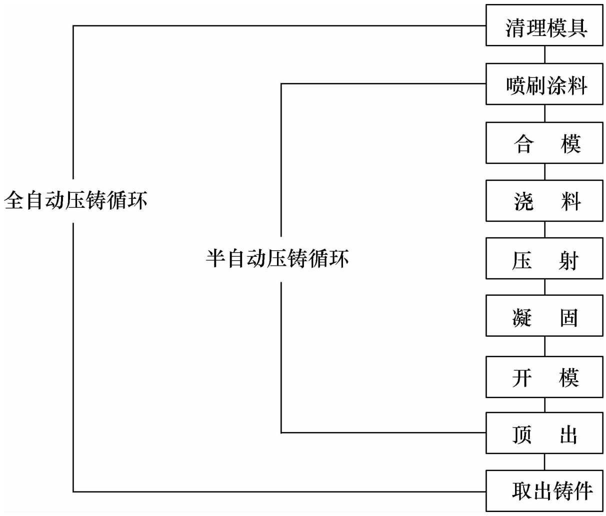


图12-1 压铸过程循环图

压力铸造是所有铸造方法中，生产速度最快的一种方法，是属于近净形的先进成型工艺。广泛应用于现代工业的各个部门，如汽车、摩托车、拖拉机、建筑、灯具玩具、车模、家电、电器仪表、电子通信、医疗器械、日用五金以及航空航天工业、IT产业等，特别是在有色金属铸件生产中，应用尤广。

生产优质经济的压铸件，必须具备的条件是：①最合适的压铸合金；②合理的铸件结构；③完善的压铸模；④良好的压铸机。

12.1 压铸合金

12.1.1 压铸铝合金

压铸铝合金的密度小（2.5～2.9g/cm^3）；比强度大（$\sigma_b/\rho=9\sim15$）；耐磨性、耐蚀性好；导热性、导电性好；切削性能好。但铝硅系合金易粘模；对金属坩埚有腐蚀；体收缩大，易产生缩孔。铝合金在压铸业中用量最大。

压铸铝合金的化学成分见表12-2，其力学性能见表12-3，其特性见表12-4。

表12-2 压铸铝合金的化学成分（GB/T 15115—2009）

序号	合金牌号	合金代号	化学成分（质量分数,%）										
			Si	Cu	Mn	Mg	Fe	Ni	Ti	Zn	Pb	Sn	Al
1	YZAlSi10Mg	YL101	9.0～10.0	≤0.6	≤0.35	0.45～0.65	≤1.0	≤0.50	—	≤0.40	≤0.10	≤0.15	余量

（续）

序号	合金牌号	合金代号	化学成分（质量分数,%）										
			Si	Cu	Mn	Mg	Fe	Ni	Ti	Zn	Pb	Sn	Al
2	YZAlSi12	YL102	10.0～13.0	≤1.0	≤0.35	≤0.10	≤1.0	≤0.50	—	≤0.40	≤0.10	≤0.15	余量
3	YZAlSi10	YL104	8.0～10.5	≤0.3	0.2～0.5	0.30～0.50	0.5～0.8	≤0.10	—	≤0.30	≤0.05	≤0.01	余量
4	YZAlSi9Cu4	YL112	7.5～9.5	3.0～4.0	≤0.50	≤0.10	≤1.0	≤0.50	—	≤2.90	≤0.10	≤0.15	余量
5	YZAlSi11Cu3	YL113	9.5～11.5	2.0～3.0	≤0.50	≤0.10	≤1.0	≤0.30	—	≤2.90	≤0.10	—	余量
6	YZAlSi17Cu5Mg	YL117	15.0～18.0	4.0～5.0	≤0.50	0.50～0.70	≤1.0	≤0.10	≤0.20	≤1.40	≤0.10	—	余量
7	YZAlMg5Si1	YL302	≤0.35	≤0.25	≤0.35	7.60～8.60	≤1.1	≤0.15	—	≤0.15	≤0.10	≤0.15	余量

注：除有化学成分范围的元素和铁为必检元素外，其余元素在有要求时抽检。

表 12-3　压铸铝合金的力学性能（GB/T 15115—2009）

序号	合金牌号	合金代号	抗拉强度 R_m/（N/mm²）≥	断后伸长率 A_{50mm}（%）≥	硬度 HBW ≥
1	YZAlSi10Mg	YL101	200	2.0	70
2	YZAlSi12	YL102	220	2.0	60
3	YZAlSi10	YL104	220	2.0	70
4	YZAlSi9Cu4	YL112	320	3.5	85
5	YZAlSi11Cu3	YL113	230	1.0	80
6	YZAlSi17Cu5Mg	YL117	220	<1.0	—
7	YZAlMg5Si1	YL302	220	2.0	70

表 12-4　压铸铝合金的特性（GB/T 15115—2009）

合金牌号	YZAlSi10Mg	YZAlSi12	YZAlSi10	YZAlSi9Cu4	YZAlSi11Cu3	YZAlSi17Cu5Mg	YZAlMg5Si1
合金代号	YL101	YL102	YL104	YL112	YL113	YL117	YL302
抗热裂性	1	1	1	2	1	4	5
致密性	2	1	2	2	2	4	5
充型能力	3	1	3	2	1	1	5
不粘型性	2	1	1	1	2	2	5
耐蚀性	2	2	1	4	3	3	1
可加工性	3	4	3	3	2	5	1
抛光性	3	5	3	3	3	5	1

（续）

合金牌号	YZAlSi10Mg	YZAlSi12	YZAlSi10	YZAlSi9Cu4	YZAlSi11Cu3	YZAlSi17Cu5Mg	YZAlMg5Si1
合金代号	YL101	YL102	YL104	YL112	YL113	YL117	YL302
电镀性	2	3	2	1	1	3	5
阳极处理	3	5	3	3	3	5	1
氧化保护层	3	3	3	4	4	5	1
高温强度	1	3	1	3	2	3	4

注：1~5表示由最佳到最差。

12.1.2 压铸锌合金

压铸锌合金的特点是熔点低，可延长压铸模的寿命；不易粘膜；铸造工艺性好，可压铸各种复杂、薄壁铸件；具有良好的电镀性；具有良好的常温使用定能。但是其密度大（6.6~6.7g/cm^3）；易老化；进而发生强度和尺寸变化。

压铸锌合金的化学成分见表12-5，其力学性能见表12-6，其物理性能见表12-7。

表12-5 压铸锌合金的化学成分（GB/T 13818—2009）

序号	合金牌号	合金代号	主要成分（质量分数,%）				杂质含量（质量分数,%） ≤			
			Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Sn	Cd
1	YZZnAl4A	YX040A	3.9~4.3	≤0.1	0.030~0.060	余量	0.035	0.004	0.0015	0.003
2	YZZnAl4B	YX040B	3.9~4.3	≤0.1	0.010~0.020	余量	0.075	0.003	0.0010	0.002
3	YZZnAl4Cu1	YX041	3.9~4.3	0.7~1.1	0.030~0.060	余量	0.035	0.004	0.0015	0.003
4	YZZnAl4Cu3	YX043	3.9~4.3	2.7~3.3	0.025~0.050	余量	0.035	0.004	0.0015	0.003
5	YZZnAl8Cu1	YX081	8.2~8.8	0.9~1.3	0.020~0.030	余量	0.035	0.005	0.0050	0.002
6	YZZnAl11Cu1	YX111	10.8~11.5	0.5~1.2	0.020~0.030	余量	0.050	0.005	0.0050	0.002
7	YZZnAl27Cu2	YX272	25.5~28.0	2.0~2.5	0.012~0.020	余量	0.070	0.005	0.0050	0.002

注：1. 牌号YZZnAl4B中Ni的质量分数为0.5%~2%。
2. 化学成分检验频率，每炉取样一组。
3. 化学成分中Al的质量分数<3.5%时，压铸锌合金的流动性降低，热裂和收缩量增加。

表12-6 压铸锌合金的力学性能（GB/T 13818—2009）

合金代号	YX040A	YX040B	YX041	YX043	YX081	YX111	YX272
抗拉强度/MPa	283	283	328	359	372	400	426
屈服强度/MPa	221	221	269	283	283~296	310~331	359~370
抗压强度/MPa	414	414	600	641	252	269	358
伸长率（%）	10	13	7	7	6~10	4~7	2.0~3.5
硬度HBW	82	80	91	100	100~106	95~105	116~122
抗剪强度/MPa	214	214	262	317	275	296	325

（续）

合金代号	YX040A	YX040B	YX041	YX043	YX081	YX111	YX272
冲击吸收能量/J	58	58	65	47.5	32～48	20～37	9～16
疲劳强度/MPa	47.6	47.6	56.5	58.6	103	—	145
弹性模量/GPa	—	—	—	—	85.5	83	77.9

注：表中力学性能数据是采用专用试样模具获得的单铸试样进行试验而得到的参考结果。

表 12-7　压铸锌合金的物理性能（GB/T 13818—2009）

合金代号	YX040A	YX040B	YX041	YX043	YX081	YX111	YX272
密度/（g/cm^3）	6.6	6.6	6.7	6.6	6.3	6.03	5.0
熔化温度范围/℃	381～387	381～387	380～386	379～390	375～404	377～432	372～484
比热容/［J/（kg·℃）］	419	419	419	419	435	450	525
线胀系数/$\times 10^{-6}K^{-1}$	27.4	27.4	27.4	27.8	23.2	24.1	26
热导率/［W/（m·K）］	113	113	109	104.7	115	116	122
泊松比	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	—

12.1.3　压铸镁合金

镁合金是最轻质的金属工程材料，具有许多优良的工程应用特性，是满足产品轻量化要求的最具竞争力的金属材料。

压铸镁合金的化学成分见表 12-8，其力学性能见表 12-9，其性能特点见表 12-10。

表 12-8　压铸镁合金的化学成分（GB/T 25748—2010）

序号	合金牌号	合金代号	化学成分（质量分数，%）									
			Al	Zn	Mn	Si	Cu≤	Ni≤	Fe≤	RE	其他元素	Mg
1	YZMgAl2Si	YM102	1.8～2.5	≤0.2	0.18～0.70	0.7～1.2	0.01	0.001	0.006	—	≤0.01	余量
2	YZMgAl2Si（B）	YM103	1.8～2.5	≤0.25	0.05～0.15	0.7～1.2	0.008	0.001	0.0035	0.06～0.25	≤0.01	余量
3	YZMgAl4Si（A）	YM104	3.5～5.0	≤0.12	0.20～0.50	0.5～1.5	0.06	0.030	—	—	—	余量
4	YZMgAl4Si（B）	YM105	3.5～5.0	≤0.12	0.36～0.70	0.5～1.5	0.02	0.002	0.0035	—	≤0.02	余量
5	YZMgAl4Si（S）	YM106	3.5～5.0	≤0.2	0.18～0.70	0.5～1.5	0.01	0.002	0.004	—	≤0.02	余量
6	YZMgAl2Mn	YM202	1.6～2.5	≤0.2	0.33～0.7	≤0.08	0.008	0.001	0.004	—	≤0.01	余量
7	YZMgAl5Mn	YM203	4.4～5.4	≤0.22	0.26～0.6	≤0.10	0.01	0.002	0.004	—	≤0.02	余量

（续）

序号	合金牌号	合金代号	化学成分(质量分数,%)									
			Al	Zn	Mn	Si	Cu≤	Ni≤	Fe≤	RE	其他元素	Mg
8	YZMgAl6Mn(A)	YM204	5.5 ~ 6.5	≤0.22	0.13 ~ 0.6	≤0.60	0.25	0.030	—	—	—	余量
9	YZMgAl6Mn	YM205	5.5 ~ 6.5	≤0.22	0.24 ~ 0.6	≤0.10	0.01	0.002	0.005	—	≤0.02	余量
10	YZMgAl8Zn1	YM302	7.0 ~ 3.1	0.4 ~ 1.0	0.13 ~ 0.35	≤0.30	0.10	0.010	—	—	≤0.03	余量
11	YZMgAl9Zn1(A)	YM303	8.3 ~ 9.7	0.35 ~ 1.0	0.13 ~ 0.5	≤0.50	0.10	0.030	—	—	—	余量
12	YZMgAl9Zn1(B)	YM304	8.3 ~ 9.7	0.35 ~ 1.0	0.13 ~ 0.5	≤0.50	0.35	0.030	—	—	—	余量
13	YZMgAl9Zn1(d)	YM305	8.3 ~ 9.7	0.35 ~ 1.0	0.16 ~ 0.6	≤0.10	0.03	0.002	0.005		≤0.02	余量

注：除有范围的元素外和铁为必检元素外，其余元素有要求时抽检。

表 12-9　压铸镁合金试样的力学性能（GB/T 25748—2010）

序号	合金牌号	合金代号	拉伸性能			硬度 HBW
			抗拉强度 R_m/MPa	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$/MPa	伸长率 A (%)	
1	YZMgAl2Si	YM102	230	120	12	55
2	YZMgAl2Si (B)	YM103	231	122	13	55
3	YZMgAl4Si (A)	YM104	210	140	6	55
4	YZMgAl4Si (B)	YM105	210	140	6	55
5	YZMgAl4Si (S)	YM106	210	140	6	55
6	YZMgAl2Mn	YM202	200	110	10	58
7	YZMgAl5Mn	YM203	220	130	8	62
8	YZMgAl6Mn (A)	YM204	220	130	8	62
9	YZMgAl6Mn	YM205	220	130	8	62
10	YZMgAl8Zn1	YM302	230	160	3	63
11	YZMgAl9Zn1 (A)	YM303	230	160	3	63
12	YZMgAl9Zn1 (B)	YM304	230	160	3	63
13	YZMgAl9Zn1 (d)	YM305	230	160	3	63

注：压铸镁合金的力学性能是在规定的工艺参数下，采用单铸拉力试棒所测得的铸态性能。表中未特殊说明的数值均为最小值。

表 12-10　压铸镁合金的性能特点

优点	密度小（1.8g/cm³）；比强度大（14～16）；刚度和减振性好；铸件尺寸稳定；热容量小，不粘型；可加工性优良
缺点	易氧化，要求熔化、保温设备结构复杂，工艺也复杂；高温脆性、热裂倾向大；耐蚀性差

12.1.4　压铸铜合金

压铸铜合金的特点是力学性能好；导电、导热性能好；摩擦因数小，耐磨性好；耐蚀性好。但其密度大（8.2～8.5g/cm³）；熔点高，降低压铸模使用寿命；价格高。

国家标准（GB/T 15116—1994）规定，压铸铜合金的化学成分见表 12-11；力学性能和适用范围见表 12-12；铸造性能见表 12-13。

表 12-11　压铸铜合金的化学成分

序号	合金牌号	合金代号	主要成分（质量分数,%）					杂质含量（质量分数,%）≤						
			Cu	Si	Pb	Al	Zn	Fe	Al	Sb	Sn	Pb	Mn	总和
1	YZCuZn40Pb	YT40-1	52～63	—	0.5～1.5	0.2～0.5	其余	0.8	—	0.05	—	—	0.5	1.05
2	YZCuZn16Si4	YT16-4	79～81	2.5～4.5	—	—	其余	0.6	0.1	—	0.3	0.5	0.5	2.0
3	YZCuZn30Al3	YT30-3	66～68	—	—	2.0～3.0	其余	0.8	—	—	1.0	1.0	0.5	3.0
4	YZCuZn35Al2Mn2Fe	YT35-2-2-1	57～65	0.1	—	0.5～2.5	其余	0.5～2.0	—	—	1.0	0.5	0.1～3.0	2.0

注：1. 化学成分检验频率，每炉次取一组。

2. 杂质总量中，不含 Fe、Mn。

3. 成分中的元素 Si，提高合金的流动性；元素 Pb，在合金中会发生偏析；元素 Sn 的质量分数 > 1%，则提高合金的硬度，改善抗蚀性，降低切削性。

表 12-12　压铸铜合金的力学性能和适用范围

序号	合金牌号	合金代号	抗拉强度 σ_b/MPa	断后伸长率 $\delta(\%)$, $L_0=50$	布氏硬度 HBW 5/120/30	适用范围
1	YZCuZn40Pb	YT40-1	300	6	85	齿轮、承受海水作用的管配件、阀体、船舶零件、形状复杂的各种铸件
2	YZCuZn16Si4	YT16-4	345	25	85	
3	YZCuZn30Al3	YT30-3	400	15	110	
4	YZCuZn35Al2Mn2Fe	YT35-2-2-1	475	3	130	

注：压铸铜合金的力学性能，是在规定的工艺参数下，采用单铸拉力试棒所测得的铸态性能。

表 12-13　压铸铜合金的铸造性能

合金牌号	熔点/℃	线收缩率（%）	元素对铸造性能的影响
YZCuZn40Pb	885	2.23	元素 Si 能提高流动性 元素 Pb 容易发生偏析
YZCuZn16Si4	900	1.7	
YZCuZn30Al3	995	1.25	
YZCuZn35Al2Mn2Fe	—	—	

12.2　压铸件结构与技术要求

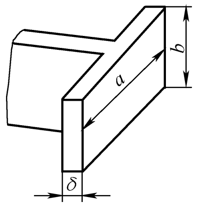
压铸件是压铸工艺的产品，压铸件须具备三点基本要求：一是功能性要求，保证使用中能够承担一定的功能；二是工艺性，即符合压铸工艺规律，能够用压铸法铸出（可压铸性）；三是经济性，尽量使压铸模具和压铸操作简单，降低压铸模具和生产成本。对于压铸工，应更多关注压铸件的工艺性是否合理，即压铸合金、压铸件结构形状、压铸件技术要求，是否在压铸工艺的加工能力和范围之内。超出其能力和范围，会导致压铸困难或根本无法生产。

12.2.1　压铸件结构要素

1. 壁厚

各种压铸合金合理的壁厚见表 12-14。

表 12-14　压铸件合理壁厚

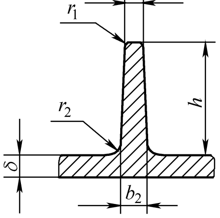
$a \times b/\mathrm{mm}^2$	壁厚 δ/mm				图示
	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金	
≤25	0.8 ~ 4.5	1.0 ~ 4.5	1.0 ~ 4.5	1.5 ~ 4.5	
>25 ~ 100	0.8 ~ 4.5	1.5 ~ 4.5	1.5 ~ 4.5	1.5 ~ 4.5	
>100 ~ 400	1.5 ~ 4.5(6)	2.5 ~ 4.5(6)	2.5 ~ 4.5(6)	2.5 ~ 4.5(6)	
>400 ~ 600	1.5 ~ 4.5(6)	2.5 ~ 4.5(6)	2.5 ~ 4.5(6)	2.5 ~ 4.5(6)	

注：1. 在较优越条件下，合理壁厚范围可取括号内数据。
2. 根据不同使用要求，压铸件壁厚可增厚到 12mm。
3. 在压铸件两壁相交处，厚薄相差太大时，可通过改进结构使其壁厚均匀；厚薄悬殊时也可利用肋使其壁厚均匀，但肋要均匀对称分布，以免压铸件变形。

2. 肋

肋的壁厚要均匀；避免肋的连接处金属液汇集，形成厚壁；肋的布置要对称。肋的厚度和斜度见表 12-15。

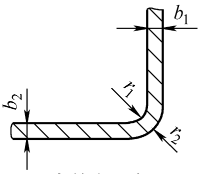
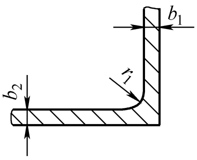
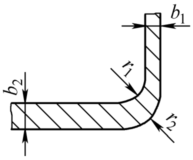
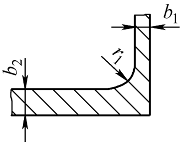
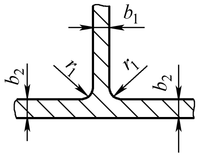
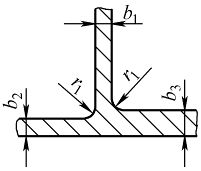
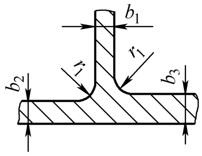
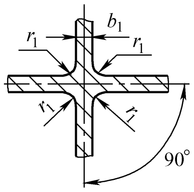
表 12-15　肋的厚度和斜度

尺寸范围/mm			图　示
正常壁厚 δ	$\delta \leqslant 3$	$\delta > 3$	
b_1	$(0.6 \sim 1.0)\delta$	$(0.4 \sim 0.7)\delta$	
b_2	$(1.0 \sim 1.3)\delta$	$(0.6 \sim 1.0)\delta$	
h	$h \leqslant 5\delta$	—	
r_1	$r_1 \leqslant 0.5$	—	
r_2	$r_2 \geqslant 1.0$	—	

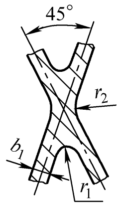
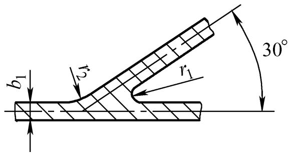
3. 铸造圆角

压铸件上的圆角连接形式及圆角半径计算见表 12-16。

表 12-16　压铸件上的圆角连接形式及圆角半径计算公式

连接形式	壁厚条件	圆角连接图示	圆角半径计算公式
直角连接	壁厚相等 $b_1=b_2$	 内外有圆角  不允许有外圆角	$r_1=b_1=b_2$ $r_2\approx r_1+(b_1$ 或 $b_2)$ $r_1\approx(1.0\sim1.25)b_1$
	壁厚不等 $b_1<b_2$	 内外有圆角  不允许有外圆角	$r_1\approx\frac{2}{3}(b_1+b_2)$ $r_2<r_1+b_2$ $r_1\approx\frac{2}{3}(b_1+b_2)$
T 形壁连接	壁厚相等 $b_1=b_2$		$r_1\approx(1\sim1.25)b_1$
	壁厚不等 $b_1\approx b_2$ $b_3>b_1$（或 b_2）		$r_1\approx(1\sim1.25)b_1$
	壁厚不等 $b_3>b_2>b_1$		$r_1\approx(1\sim1.25)b_1$
交叉连接	壁厚均匀　十字形		$r_1=b_1$

（续）

连接形式	壁厚条件		圆角连接图示	圆角半径计算公式
交叉连接	壁厚均匀	X 形		$r_1 \approx 0.7b_1$ $r_2 \approx 1.5b_1$
		Y 形		$r_1 \approx 0.5b_1$ $r_2 \approx 2.5b_1$
	壁厚不等		最薄壁厚为 b_1	r_1、r_2 按 b_1 选取

4. 铸造斜度

（1）压铸件内腔、外壁、文字符号的铸造斜度（见表 12-17）

表 12-17　压铸件内腔、外壁、文字符号的铸造斜度

压铸合金	内腔深度/mm						
	≤6	>6 ~ 8	>8 ~ 10	>10 ~ 15	>15 ~ 20	>20 ~ 30	>30 ~ 60
	内腔斜度						
锌合金	2°30′	2°	1°50′	1°30′	1°15′	1°	0°45′
铝合金、镁合金	4°	3°30′	3°	2°30′	2°	1°30′	1°45′
铜合金	4°	4°	3°30′	3°	2°30′	2°	1°30′

注：1. 压铸件外壁的铸造斜度，为内腔斜度的 1/2。
　　2. 文字符号的铸造斜度取 10° ~ 15°。

（2）压铸件的铸孔直径、最大深度和斜度的关系（见表 12-18）

表 12-18　铸孔直径、最大孔深和铸造斜度的关系

铸孔直径 D/mm	压铸锌合金		压铸铝合金		压铸铜合金	
	最大孔深/mm	铸造斜度	最大孔深/mm	铸造斜度	最大孔深/mm	铸造斜度
≤3	9	1°30′	8	2°30′	—	—
>3 ~ 4	14	1°20′	13	2°	—	—
>4 ~ 5	18	1°10′	16	1°45′	—	—
>5 ~ 6	20	1°	18	1°40′	—	—
>6 ~ 8	32	0°50′	25	1°30′	14	2°30′
>8 ~ 10	40	0°45′	38	1°15′	25	2°

（续）

铸孔直径 D/mm	压铸锌合金		压铸铝合金		压铸铜合金	
	最大孔深/mm	铸造斜度	最大孔深/mm	铸造斜度	最大孔深/mm	铸造斜度
>10～12	50	0°40′	50	1°10′	30	1°45′
>121～16	80	0°30′	80	1°	45	1°15′
>16～20	110	0°25′	110	0°45′	70	1°
>20～25	150	0°20′	150	0°40′	—	—

注：1. $D>25$mm 时，锌合金、铝合金压铸孔的深度可为 D 的 6 倍。
2. 螺纹底孔允许按上表铸造斜度铸出，扩孔达到螺纹底孔尺寸。
3. 对孔径小、收缩应力很大的铸孔，表中深度可适当缩小。

（3）压铸螺纹的铸造斜度（见表 12-19）

表 12-19　压铸螺纹的铸造斜度

压铸合金	型芯表面宽度最大（100mm）时的最小斜度					
	外侧		活动型芯		固定型芯	
	斜度（%）	最小斜度值/mm	斜度（%）	最小斜度值/mm	斜度（%）	最小斜度值/mm
铅锡合金	0～0. 1	—	0. 1	—	0. 2	—
锌合金	0～0. 2	—	0. 2	—	0. 4	0. 3
铝合金	0～0. 5	—	0. 5	0. 05	1. 0	0. 10
镁合金	0～0. 3	—	0. 3	0. 03	0. 6	0. 05
铜合金	1～1. 5	0. 05	2. 0	0. 10	0. 20	0. 20

5. 压铸孔

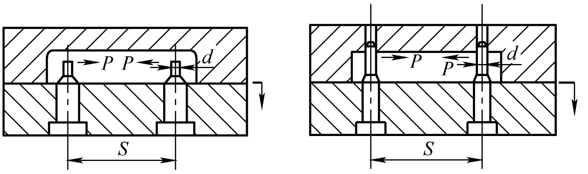
压铸件孔径 D 与最大深度的关系见表 12-20。压铸件上孔的大小与孔距的关系见表 12-21。

表 12-20　一般压铸件孔径 D 对应的最大深度

压铸合金	孔径 D/mm										
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	15	20
	最大孔深/mm										
锌合金	4	8	12	15	20	25	30	40	50	60	80
铝合金	—	6	9	12	15	20	25	30	40	50	60
镁合金	—	6	9	12	15	20	25	30	40	50	60
铜合金	—	—	—	8	10	12	15	20	25	30	40

注：1 孔距较大时，其最大深度应减小，厚壁上孔的深度应减小。
2. 相同直径时，孔越深附加费用越高。

表 12-21　铸孔大小与孔距的关系

图示		 a)　b) a）不通孔　b）通孔 *P*—铸件凝固收缩时的收缩力，箭头表示收缩方向										
铸孔直径 *d*/mm		≤2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～12	12～14
合金种类		与孔径相应的孔距 *S* 最大尺寸/mm										
锌合金	通孔	≤80	80～160	160～240	240～320	320～400	400～480	480～560	560～640	640～720	720～800	>800
	不通孔	≤50	50～100	100～150	150～200	200～250	250～300	300～350	350～400	400～450	450～500	500～550
铝合金	通孔	—	≤30	30～95	95～155	155～215	215～280	230～340	340～405	405～465	465～525	525～580
	不通孔		≤18	18～55	55～90	90～130	130～165	165～200	200～235	235～270	270～345	345～390
镁合金	通孔	—	≤65	65～135	135～200	200～265	265～335	335～400	400～465	465～530	530～600	>600
	不通孔		≤40	40～80	80～120	120～160	160～200	200～240	240～280	280～300	300～400	400～440
铜合金	通孔	—	—	—	≤50	50～90	90～140	140～190	190～240	240～285	285～380	380～420
	不通孔				≤30	30～60	60～90	90～120	120～150	150～180	180～210	210～240

注：当孔的深度小于表中的范围时，在适当条件下，表中 *S* 最大值可适当地大些。

6. 压铸齿形与螺纹

（1）压铸齿形的最小模数、精度和斜度（见表 12-22）

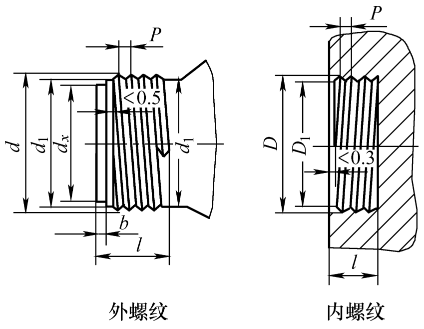
表 12-22　压铸齿形的最小模数、精度和斜度

合金	铅锡合金	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金
最小模数/mm	0.3	0.3	0.5	0.5	1.5
精度	3	3	3	3	3
斜度	在宽度高于 20mm 时，每面至少有 0.05～0.2mm 的斜度值，而铜合金应为 0.1～0.2mm				
加工余量	对要求高的齿轮，齿面应留有 0.2～0.3mm 的加工余量				

（2）压铸螺纹　螺纹可以直接压铸出，但压铸螺纹的牙形应是平头或圆头的。压铸螺纹必须是整口。压铸螺纹的极限尺寸见表 12-23。

表 12-23　压铸螺纹的极限尺寸

图示



d—外螺纹大径
D—内螺纹大径
d_1—外螺纹小径
D_1—内螺纹小径
d_x—小于外螺纹小径
b—d_x 的长度
l—螺纹长度
P—螺纹螺距

合金种类	最小螺距 *P*/mm	最小直径/mm		最大长度 *l*（*P* 的倍数）	
		外螺纹 d_1	内螺纹 D_1	外螺纹	内螺纹
锌合金	（0.75）、1	6	（10）、8	8*P*	5*P*
铝合金	（0.75）、1	（8）、10	（12）、20	6*P*	4*P*
镁合金	0.75	10	（12）、15	6*P*	4*P*
铜合金	1.5	12	—	6*P*	—

注：1. 采用两半型腔成型时的外螺纹，其最大长度可以加大。
2. 压铸时，内螺纹的直径不宜过大。
3. 括号内的数据表示可能做到的。

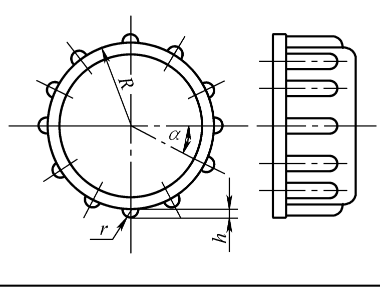
压铸外螺纹的螺纹线起端和末端均应整齐全口，其螺纹高度是逐渐减小至于内径相交为止。内螺纹的螺纹线起端为整齐全口，内端则因螺纹型芯拧出之故，不能再具有整齐全扣的末端。

当外螺纹是采用两半型腔压出时，容易产生一种或几种缺陷（如飞翅、轴向错扣、椭圆、径向偏移），需要经过加工消除，但不应超出螺纹公差要求。

7. 凸纹和直纹

1）凸纹可以直接压出。圆柱体的纹数应按圆周等分，见表 12-24。

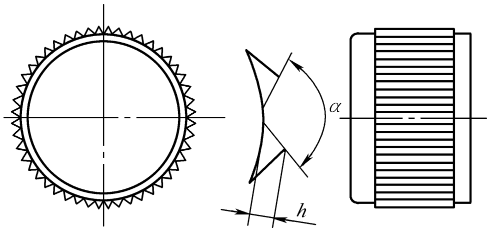
表 12-24　压铸凸纹、直纹尺寸关系



压铸件半径 *R*/mm	凸纹半径 *r* /mm	凸纹节距角 *α*/（°）	凸纹高度 *h* /mm
≤10	0.5～1	15、30、45	（0.5～0.8）*r*
>10～30	0.5～1		
>30～50	1～2	15、30、45	
>50～100	2～3		

2）直纹可以直接压出。直纹尺寸见表 12-25。

表 12-25　直纹夹角与高度尺寸

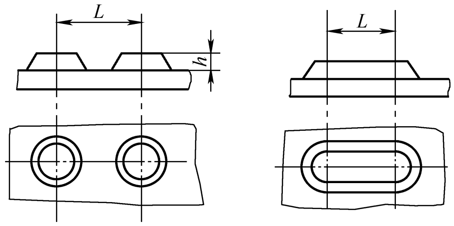
尺寸关系	图　　示
$\alpha > 100°$ $h = 0.6 \sim 1.2\text{mm}$	

注：凸纹和直纹压铸，纹路应平行于出模方向，并具有一定的起模斜度。

8. 凸台

压铸凸台尺寸见表 12-26。

表 12-26　压铸凸台最小高度及紧固孔中心距

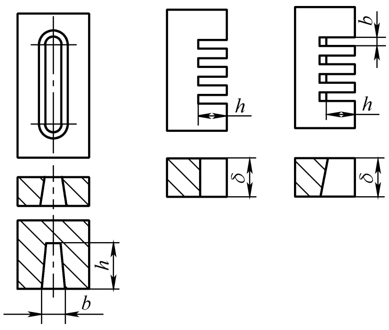


紧固螺钉直径/mm	孔中心矩 L /mm	凸台最小高度 h/mm
≤4	15	2～2.5
>4～6	18	2～2.5
>6～10	22	2～2.5
>10～14	30	2～2.5
>14～18	38	2～2.5

9. 长方形孔和槽

长方形孔和槽的尺寸见表 12-27。

表 12-27　长方形孔和槽的尺寸　　（单位：mm）



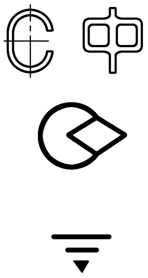
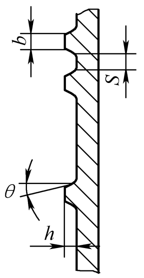
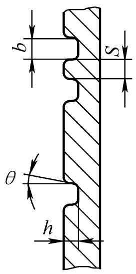
合金	铅锡合金	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金
宽度 b	0.8	0.8	1.2	1.0	1.5
深度 h	≈10	≈12	≈10	≈12	≈10
厚度 δ	≈10	≈12	≈10	≈12	≈8

注：宽度 b 在具有铸造斜度时，表内值为小端部位值。

10. 文字、图案和符号

在压铸件上的文字、图案、符号常为凸体的，应尽可能简单，不应有尖角。文字、图案与符号的尺寸见表12-28。

表12-28　文字、图案与符号的尺寸

线条形状	凸　体	凹　体	说　明
	 $b>0.25$mm，$h<b$ $\theta>10°$，$S\geqslant h$	 $b>0.35$mm，$h<b$ $\theta>15°$，$S\geqslant h$	b—线条宽度 h—线条高度 S—线条间距 θ—线条侧边斜度

11. 镶铸件

（1）镶铸件的作用与技术要求

1）镶铸件在压铸件中的作用

①加强压铸件某些部位的强度、耐磨性、导电性、绝缘性等。例如：a. 铸入钢件，提高强度；b. 铸入宝石，提高耐磨性；c. 铸入绝缘纸管，提高绝缘，节约资金；d. 铸入铁心，具有导磁性。

②消除压铸件过于复杂的型腔、内侧凹、无法压铸的形状。例如：铸入件代替压出不规则的孔，或无法压出的孔，钢制镶件上不允许有锐角。

③消除热节，避免疏松。克服金属堆积。

④利用低熔点合金压铸，代替贵金属。例如：用高硅铝合金代替青铜。

⑤代替装配。例如：a. 电表架由许多小零件汇集而成铸件；b. 转子铸入硅钢片，同时，压铸代替了装配。

2）设计的压铸件有铸入镶铸件时，应符合下述的技术要求：

①镶铸件铸入应被合金包紧，不产生松动。

②镶铸件与压铸件基体合金之间不产生电化学腐蚀。

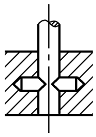
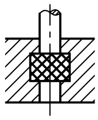
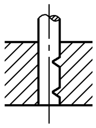
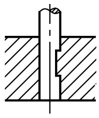
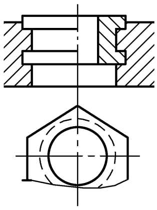
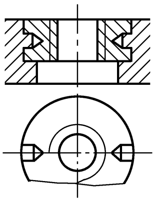
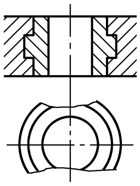
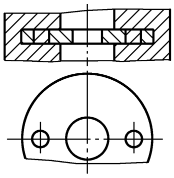
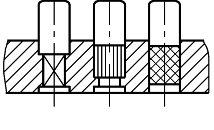
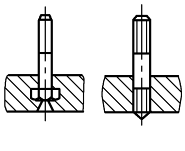
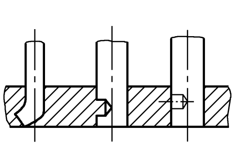
③有镶铸件的压铸件不应进行热处理。

④镶铸件放入型腔，定位应满足各种公差配合要求。

⑤镶铸件在压铸件上所处的位置应方便生产。

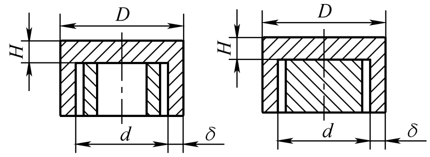
（2）镶铸件被压铸件包围部分的结构（见表12-29）

表12-29　镶铸件被压铸件包围部分的结构

结构形式	图　示	结构形式	图　示
十字销		滚花	
带槽		平切口	
六方带槽		圆周辐射孔	
削平		轴向孔	
切槽、滚花		六角螺母、螺杆	
弯头、钻孔			

（3）镶铸件被压铸件基体金属包围的最小壁厚（见表 12-30）

表 12-30　镶铸件被压铸件基体金属包围的最小壁厚



空心镶铸件 $H\geqslant 0.5d$　　实心镶铸 $H\geqslant 0.75d$

铸件外径（包括镶铸件部分）D/mm	镶铸件最大直径 d/mm	包住镶铸件壁厚 δ/mm
2.5	0.5	1.0
3	1.0	1.0
6	3.0	1.5
9	5.0	2.0
13	8.0	2.5
16	11.0	2.5
19	13.0	3.0
22	16.0	3.0
25	18.0	3.5

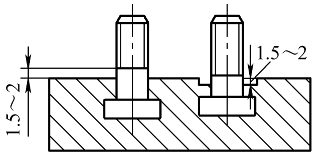
（4）金属镶铸件铸入前的预热温度（见表 12-31）

表 12-31　金属镶铸件铸入前的预热温度

压铸合金	预热温度/℃	压铸合金	预热温度/℃
铅、锡合金	60 ~ 80	铝、镁合金	200 ~ 250
锌合金	150 ~ 200	铜合金	250 ~ 350

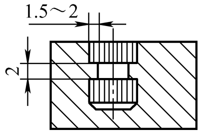
（5）带螺纹、直纹、滚花的镶铸件尺寸（见表 12-32）

表 12-32　带螺纹、直纹、滚花的镶铸件尺寸



带螺纹的镶铸件

镶铸件铸入后，螺纹下部离铸件表面 1.5 ~ 2mm



压直纹的镶铸件

镶铸件铸入的表面为压直纹或滚花时，沟槽宽度不得小于 1.5mm

镶铸件滚花尺寸/mm

镶铸件直径/mm		≤8	>8 ~ 16	>16 ~ 32	>32
滚花间距/mm	直纹	0.8	1	1.2	1.2
	网纹	0.8	1	1.2	1.2

12.2.2　压铸件技术要求

1. 压铸件加工余量（见表12-33）

表12-33　压铸件的机械加工余量

铸件最大尺寸①/mm	单面加工余量/mm	铸件最大尺寸①/mm	单面加工余量/mm
≤75	0.4	>100～200	0.7
>75～100	0.5	>200	1.0

① 圆平面为直径；方形、矩形平面为对角线。

2. 压铸件尺寸公差

（1）压铸件尺寸公差等级　大批量生产条件下，压铸件基本尺寸的公差等级见表12-34。

表12-34　压铸件尺寸公差等级（GB/T 6414—1999）

合金	公差等级CT	合金	公差等级CT
锌合金	4～6	镁合金	5～7
铝合金	5～7	铜合金	6～8

（2）压铸件尺寸公差数值　大批量生产条件下，压铸件尺寸的公差数值见表12-35。

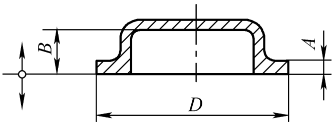
表12-35　压铸件公差数值（GB/T 6414—1999）　（单位：mm）

铸件基本尺寸		公差等级CT							
		1	2	3	4	5	6	7	8
大于	至	公差数值/mm							
—	10	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.74	1
10	16	0.10	0.14	0.20	0.28	0.38	0.54	0.78	1.1
16	25	0.11	0.15	0.22	0.30	0.42	0.58	0.82	1.2
25	40	0.12	0.17	0.24	0.32	0.46	0.64	0.9	1.3
40	63	0.13	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1	1.4
63	100	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6
100	160	0.15	0.22	0.30	0.44	0.62	0.88	1.2	1.8
160	250	—	0.24	0.34	0.50	0.72	1	1.4	2
250	400	—	—	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2
400	630	—	—	—	0.64	0.9	1.2	1.8	2.6
630	1000	—	—	—	0.72	1	1.4	2	2.8

（3）线型尺寸受分型面影响时的附加公差　压铸件受分型面影响的尺寸，应在基本尺寸公差上再加附加公差，见表12-36。

表 12-36　压铸件线型尺寸的附加公差

压铸件在分型面上的投影面积/cm^2	A 和 B 处的附加公差增或减量/mm		
	锌合金	铝合金	铜合金
≤150	0.08	0.10	0.10
>150～300	0.10	0.15	0.15
>300～600	0.15	0.20	0.20
>600～1200	0.20	0.30	—
附加公差应用案例	1）已知一铝合金压铸件的尺寸 A 为 $3^{+0.12}_{0}$mm，D 为 ϕ60mm 2）则算得 D 的投影面积为 $6^2 \times 0.7854cm^2 = 28.27cm^2$ 3）附加公差 0.10 4）A 的尺寸公差应为 $3^{+0.22}_{0}$mm		



注：一模多铸时，铸件分型面上的投影面积为各铸件投影面积之和。尺寸公差带的位置：

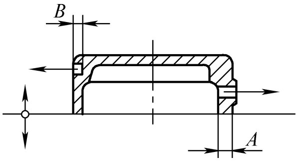
1）不加工的配合尺寸，孔取正（+），轴取负（-）。

2）待加工的尺寸，孔取负（-），轴取正（+）；或孔与轴均取双向偏差（±），但其偏差值为 CT6 级精度公差值的 1/2。

3）非配合尺寸，根据压铸件结构需要，确定公差带位置取单向或双向，必要时，调整基本尺寸。

（4）线型尺寸受压铸模活动部分影响时的附加公差　压铸模活动部分影响的尺寸，按表 12-37 规定，在基本尺寸公差上再加附加公差。

表 12-37　线型尺寸受压铸模活动部分影响时的附加公差



压铸模活动部位在抽芯方向上的投影面积/cm^2	A 和 B 处的附加公差增或减量/mm		
	锌合金	铝合金	铜合金
≤30	0.10	0.15	0.25
>30～100	0.15	0.20	0.35
>100	0.20	0.30	—
附加公差应用案例	1）已知一铝合金压铸件上尺寸 B 为 $2.5^{+0.12}_{0}$mm，压铸模活动部分由滑块型芯构成，型芯直径为 20mm 2）则算得投影面积为 3.14cm^2 3）由表查得附加公差为 0.15mm 因尺寸 B 受活动部分影响后的附加公差为减量，故尺寸 B 的公差为 $2.5^{+0.12}_{-0.15}$mm		

3. 尺寸公差带的位置

1）不加工的配合尺寸，孔取正（+），轴取负（-）。

2）待加工的尺寸，孔取负（-），轴取正（+）；或孔与轴均取双向偏差（±），但偏差值为 CT6 级精度公差值的 1/2。

3）非配合尺寸，根据压铸件结构的需要，确定公差带位置取单向或双向，必要

时调整公称尺寸。

4. 孔中心距尺寸公差（见表12-38）

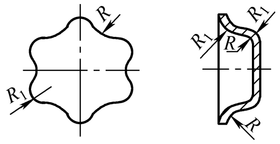
表12-38 孔中心距尺寸公差

压铸合金	公称尺寸/mm									
	≤18	>18~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~160	>160~210	>210~260	>260~310	>310~360
	孔中心距尺寸公差/mm									
锌合金	0.10	0.12	0.15	0.23	0.30	0.35	0.40	0.45	0.56	0.65
铝合金	0.10	0.12	0.15	0.23	0.30	0.35	0.40	0.45	0.56	0.65
镁合金	0.16	0.20	0.25	0.35	0.48	0.60	0.78	0.92	1.08	1.25
铜合金	0.16	0.20	0.25	0.35	0.48	0.60	0.78	0.92	1.08	1.25

注：孔中心距尺寸受分型面、压铸模活动部位影响时，表内数据应按表12-34和表12-35选用，加上附加公差。

5. 压铸件转接圆弧半径的尺寸公差（见表12-39）

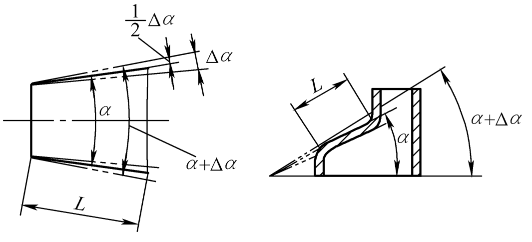
表12-39 压铸件转接圆弧半径的尺寸公差 （单位：mm）

公称尺寸R、R_1	≤3	3~6	6~10	10~18	18~30	30~50	50~80	80~120	120~180	180~260	
偏差 $R+$ $R-$	0.4	0.48	0.58	0.70	0.84	1	1.2	1.4	1.6	1.9	

注：凸圆弧半径R_1的尺寸偏差取（+），凹圆弧半径R尺寸偏差取（-）。压铸件的铸造圆角半径≥0.5mm。

6. 压铸件角度和锥度公差（见表12-40）

表12-40 压铸件角度和锥度公差

图示										
精度等级	公称尺寸L/mm									
	≤3	>3~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~180	>180~260
	角度和锥度偏差±Δα									
1	1°30′	1°15′	1°	50′	40′	30′	25′	20′	15′	12′
2	2°30′	2°	1°30′	1°15′	1°	50′	40′	30′	25′	20′

7. 压铸件壁厚尺寸公差（见表 12-41）

表 12-41　压铸件壁厚尺寸公差

壁厚/mm	≤3	>3～6	>6～10
厚度偏差/mm	±0.15	±0.2	±0.3

注：受分型面或压铸模活动部分影响的壁厚尺寸公差，按表 12-34 选择，加上附加公差。

8. 压铸件表面形状及位置公差

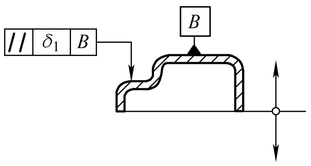
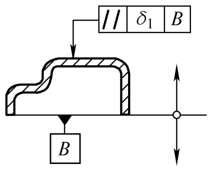
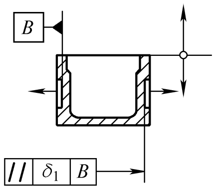
（1）压铸件表面平面度公差（见表 12-42）

表 12-42　压铸件表面平面度公差

公称尺寸/mm	≤25	>25～63	>63～100	>100～160	>160～250	>250～400	>400
整形前公差/mm	0.2	0.3	0.45	0.70	1	1.5	2.2
整形后公差/mm	0.1	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50

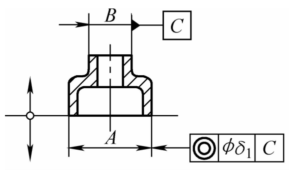
（2）压铸件表面平行度公差（见表 12-43）

表 12-43　压铸件表面平行度公差　　（单位：mm）

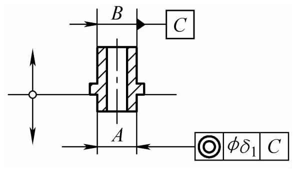
被测表面与基准平面所处位置			
公称尺寸/mm	在同一半模内 δ_1	在两个半模内公差 δ_1	在同一半模内两个活动部位时的公差 δ_1
≤25	0.10	0.15	0.20
>25～63	0.15	0.20	0.30
>63～160	0.20	0.30	0.45
>160～250	0.30	0.45	0.70
>250～400	0.45	0.65	1.20
>400	0.75	1.00	—

（3）压铸件同轴度公差（见表 12-44）

表 12-44　压铸件同轴度公差　　（单位：mm）

被测轴心线与基准轴心线所处位置		≤18	18～50	50～120	120～260	260～500
	在同一半模内的公差 δ_1	0.10	0.15	0.25	0.35	0.65

（续）

被测轴心线与基准轴心线所处位置		≤18	18~50	50~120	120~260	260~500
	在两个半模内的公差δ_1	0.20	0.25	0.35	0.50	0.80

9. 压铸件不加工表面的质量

（1）压铸件不加工表面质量级别及缺陷极限　压铸件不加工表面上的花纹、麻面和有色斑点，不允许超过表12-45的规定。

表12-45　压铸件不加工表面质量级别及缺陷极限

压铸件不加工表面质量级别	1级	2级	3级
缺陷面积不超过总面积的百分数（%）	5	25	40

注：1. 在不影响装配和使用的情况下，网状飞翅和痕迹不超过以下规定：锌合金、铝合金压铸件其厚度不超过0.2mm，铜合金压铸件其厚度不大于0.4mm。
2. 推杆痕迹突出或凹入铸件表面的高度或深度，一般为±0.2mm。
3. 工艺基准面、配合面上不允许存在任何凸起，装饰面上不允许有推杆痕迹。
4. 受压铸模镶块或受分型面影响形成表面高低不平的偏差，不超过有关尺寸公差。

（2）穿孔顶端的隔皮厚度（见表12-46）

表12-46　穿孔顶端的隔皮厚度

受分型面影响而形成的隔皮厚度/mm			
压铸件在分型面上的投影面积/cm^2	穿孔顶端的隔皮厚度/mm		
	锌合金	铝合金	铜合金
≤150	0.15	0.20	0.25
>150~300	0.20	0.25	0.30
>300~600	0.30	0.35	—
受压铸模活动部位影响形成隔皮厚度/mm			
压铸模活动部位在抽芯方向的投影面积/mm^2	穿孔顶端的隔皮厚度/mm		
	锌合金	铝合金	铜合金
≤30	0.20	0.25	0.35
>30~100	0.25	0.30	0.45
>100~300	0.30	0.40	—

（3）压铸件不加工表面质量要求（见表 12-47）

表 12-47　压铸件不加工表面质量要求

序号	缺陷名称		缺陷范围	表面质量级别			备　注
				1 级	2 级	3 级	
1	流痕		深度/mm≤	0.05	0.07	0.15	
			面积不超过总面积的百分数（%）	5	15	30	
2	冷隔		深度/mm≤	不允许	1/5 壁厚	1/4 壁厚	1）在同一部位对应处不允许同时存在 2）长度是指缺陷流向的展开长度
			长度不大于铸件最大轮廓尺寸/mm		1/10	1/5	
			所在面上不允许超过的数量		2 处	2 处	
			离铸件边缘距离/mm≥		4	4	
			两冷隔间距/mm≥		10	10	
3	拉伤		深度/mm	0.05	0.10	0.25	除一级表面外，浇道部位允许增加一倍
			面积不超过总面积的百分数（%）	3	5	10	
4	凹陷		凹入深度/mm≤	0.10	0.30	0.50	
5	粘附物痕迹		整个铸件不允许超过	不允许	1 处	2 处	
			粘带缺陷的表面面积的百分数（%）		5	10	
6	气泡	平均直径≤3mm	每 $100cm^2$ 面积上缺陷个数不超过的处数	不允许	1	2	允许两个气泡同时存在，但大气泡不超过 3 个，总数不超过 10 个；且其边距不小于 10mm
			整个铸件不超过的个数		3	7	
			离铸件边缘距离/mm≥		3	3	
			气泡凸起高度/mm≤		0.2	0.3	
		平均直径>3~6mm	每 $100cm^2$ 面积上缺陷个数不超过	不允许	1	1	
			整个铸件不超过的个数		1	3	
			离铸件边缘距离/mm≥		5	5	
			气泡凸起高度/mm≤		0.3	0.5	
7	边角缺陷深度/mm		铸件边长≤100mm	0.3	0.5	1.0	残缺长度不超过边长度的 5%
			铸件边长>100mm	0.5	0.8	1.2	
8	各类缺陷总和		面积不超过总面积的百分数（%）	5	30	50	
	对于 1 级或有特殊要求的表面，只允许有经抛光或研磨能去除的缺陷						

10. 压铸件机械加工后的表面质量

（1）压铸件机械加工后表面允许存在的孔穴个数与边距（见表 12-48）

（2）机械加工螺纹表面质量

1）机械加工螺纹表面允许的孔穴缺陷范围见表 12-49。

2）不铸底孔加工后的螺纹表面质量见表 12-50。

表 12-48 压铸件机械加工后表面允许存在的孔穴个数与边距

表面面积/cm²	级别											
	1级				2级				3级			
	孔穴											
	最大直径/mm	最大深度/mm	最多个数/个	边缘间最小距离/mm	最大直径/mm	最大深度/mm	最多个数/个	边缘间最小距离/mm	最大直径/mm	最大深度/mm	最多个数/个	边缘间最小距离/mm
≤25	0.8	0.5	3	4	1.5	1	3	4	2	1.5	3	3
>25~60	0.8	0.5	4	6	1.5	1	4	6	2	1.5	4	4
>60~150	1.0	0.5	4	6	2.0	1.5	4	6	2.5	1.5	5	4
>150~350	1.2	0.6	5	8	2.5	1.5	5	8	3	2	6	6

表 12-49 机械加工螺纹表面允许的孔穴缺陷范围

螺距/mm	孔穴缺陷范围			
	平均直径/mm≤	深度/mm≤	螺纹工作长度内的个数/个≤	两孔的边距/mm≤
≤0.75	1	1	1	2
>0.75	1.5(不超过2倍螺距)	1.5(≤1/4壁厚)	4	5

注：螺纹头两扣不允许有任何缺陷，其余螺纹不允许有表中规定的孔穴缺陷。

表 12-50 不铸底孔加工后的螺纹表面质量

螺距/mm	孔穴与端面的最小距离/mm	孔穴长度不超过有效螺纹长度的
≤0.75	3	1/5
>0.75	5	1/4

12.3 压铸机

压铸过程是通过压铸机来实现的。良好的压铸机是生产优质经济压铸件的条件之一。压铸机按压室的工作环境不同分为两大类：热压室式压铸机和冷压室式压铸机。目前，热室压铸机应用主要分布在南方，北方则以卧式冷室压铸机为主。

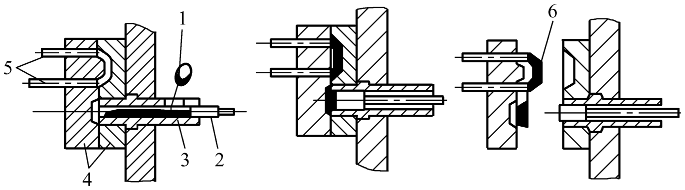
12.3.1 冷室压铸机

冷压室压铸机根据压室放置位置分为卧式、立式和全立式三类。其中应用较多的是卧式冷室压铸机。

1. 卧式冷室压铸机

（1）卧式冷室压铸机的特点、压铸过程及适用范围（见表 12-51）

表 12-51　卧式冷室压铸机的特点、压铸过程及适用范围

图示	a)　b)　c) a）合型并浇入金属液　b）压射　c）开型取出铸件 1—熔融金属　2—射压冲头　3—压缩室　4—压型　5—顶杆　6—铸件
特点	压铸机的压室水平放置，压室和压射冲头不浸入熔融金属内，定量的金属液浇到压室中，然后进行压射 卧式冷压室压铸机具有便于自动浇料，无切除余料的程序，更换压室、活塞方便等优点，故发展很快，自动化程度越来越高，特别是大型压铸机都采用卧式冷压室的压铸形式
压铸过程	如表图示： 1）压型 4 闭合 2）将金属液浇入压缩室 3 中 3）压射冲头 2 向左推进，先慢速后快速，将金属液经浇道压入型腔，并产生瞬间高的压力，保持在正凝固的金属上 4）待铸件凝固后，打开压型 4 5）由顶杆 5 将铸件连同余料一起顶出
适应范围	适用于铝合金及熔点更高的铜合金的压铸。可在较低浇注温度下压铸复杂的铸件

（2）卧式冷室压铸机的型号与基本参数　国产卧式冷室压铸机的型号有 J113 型、116A 型、J1113A 型、C 型、J1125 型、J1140 型、J1163 型。基本参数见表 12-52。

表 12-52　卧式冷室压铸机基本参数（JB/T 8083—2000）

合型力/kN≥		630	1000	1600	2500	4000	6300	8000	10000	12500	16000	20000	25000
拉杆之间的内尺寸（水平/mm）×（垂直/mm）≥		280×280	350×350	420×420	520×520	620×620	750×750	850×850	950×950	1060×1060	1180×1180	1320×1320	1500×1500
动型座板行程/mm ≥		250	300	350	400	450	600	670	750	850	950	1060	1180
压铸型厚度/mm	最小	150	150	200	250	300	350	420	480	530	600	670	750
	最大	350	450	550	650	750	850	950	1060	1180	1320	1500	1700
压射位置（0 为中心）/mm		0 60 —	0 120 —	0 70 140	0 80 160	0 100 200	0 125 250	0 140 280	0 160 320	0 160 320	0 175 350	0 175 350	0 180 360
压射力/kN ≥		90	140	200	280	400	600	750	900	1050	1250	1500	1800

（续）

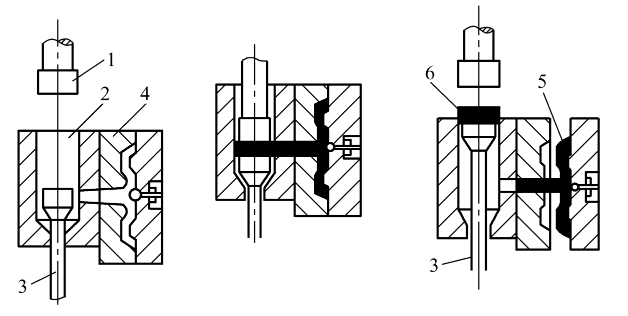
合型力/kN≥		630	1000	1600	2500	4000	6300	8000	10000	12500	16000	20000	25000
压室直径/mm		30～45	45～50	40～60	50～75	60～80	70～100	80～120	90～130	100～140	110～150	130～175	150～200
最大金属浇注量（铝）/kg		0.7	1.0	1.8	3.2	4.5	9	15	22	26	32	45	60
压射室法兰直径/mm	公称值	85	90	110	120	130	165	180	240	240	260	260	300
	极限偏差	f7											
压射室法兰凸出定型座板高度/mm	公称值	10	10	10	15	15	15	20	20	25	25	30	30
	极限偏差	-0.05											
射压冲头推出距离/mm≥		80	100	120	140	180	220	250	280	320	360	400	450
液压顶出器顶出力/kN ≥		—	80	100	140	180	250	360	450	500	550	630	750
液压顶出器行程/mm≥		—	60	80	100	120	150	180	200	200	250	250	315
一次空循环时间/s ≤		5	6	7	8	10	12	14	16	19	22	26	30

注：根据用户需要，允许生产合型力为31500N、40000kN的卧式冷室压铸机。

2. 立式冷室压铸机

（1）立式冷室压铸机的特点、压铸过程及应用范围（见表12-53）

表12-53 立式冷室压铸机特点、压铸过程及应用范围

简图	 a) b) c) a）合型并注入金属液 b）压射 c）开型取出铸件 1—上冲头 2—压缩室 3—反冲头 4—压型 5—铸件 6—剩余金属
特点	压铸机的压室垂直放置，压室的底由反冲头形成 压室和压射冲头不浸于熔融金属内，而是一定容量的熔融金属液浇到压室中，然后进行压射

（续）

压铸过程	如表图所示： 1）关闭压型 4 2）压铸前，向压缩室 2 中浇入金属液时，反冲头 3 挡住压室出口，以免金属液流入型腔 3）压射时，上冲头 1 下行，反冲头 3 下降，打开出口，金属液射入型腔 4）铸件凝固后，上冲头 1 回升，反冲头 3 复位，同时，切断余料和浇道的连接，继续上升，将余料推出压室 5）最后，开型取出铸件
应用范围	适用于铝合金及熔点更高的铜合金的压铸；可在较低的浇注温度下，铸造复杂的铸件 对于厚大压铸件及结构件一般应采用冷室压铸机生产

（2）立式冷室压铸机的型号与基本参数　国产立式冷室压铸机的型号有 J1512 型、J1513 型。全立式冷室压铸机型号有 JLQ-50 型、JLQ-25 型。基本参数见表 12-54。

表 12-54　立式冷室压铸机基本参数（JB/T 8083—2000）

合型力/kN　≥		630	1000	1600	2500	4000	6300
拉杆之间的内尺寸（水平/mm）×（垂直/mm）≥		280×280	350×350	420×420	520×520	620×620	750×750
动型座板行程/mm　≥		250	300	250	400	450	600
压铸型厚度/mm	最大	350	450	550	650	750	850
	最小	150	150	200	250	300	350
压射位置（0 为中心）/mm		0	0	0	0	0	0
		—	—	—	80	100	150
压射力/kN　≥		160	200	300	400	700	900
压室直径/mm		50～60	60～70	70～90	90～110	110～130	130～150
最大金属浇注量/kg		0.6	1.0	2.0	3.6	7.5	11.5
液压顶出器顶出力/kN　≥		—	80	100	140	180	250
液压顶出器行程/mm　≥		—	60	80	100	120	150
一次循环时间/s　≥		6	7.5	9	10	13	16

注：根据用户需要，允许生产合型力为 10000kN 的立式冷室压铸机。

12.3.2　热室压铸机

1. 热室压铸机的特点、压铸过程及适用范围（见表 12-55）

2. 热室压铸机的型号与基本参数

国产常用热室式压铸机型号有 JZ213 型热室自动压铸机、JZ2113 型热室压铸机。热室压铸机的基本参数见表 12-56。

表 12-55　热室压铸机的特点、压铸过程及适用范围

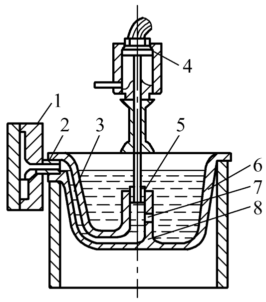
热室压铸机图示	 1—铸型　2—喷嘴　3—通道　4—气缸　5—活塞　6—坩埚　7—金属吸取孔　8—立缸
特点	1）将熔化金属用的坩埚装置与压室连成一个整体，压室浸在金属液中，压缩空气推动活塞机构进行压铸。压铸过程全自动，生产率高 2）压铸机压力小，压射比压较低，压室浸没在金属液中易被腐蚀 3）金属液从液面下进入型腔，杂质不易卷入
压铸过程	1）工作时，先闭合压铸型 1 2）然后，压缩空气进入气缸 4 中，迫使活塞 5 下行，将立缸 8 中的金属液，经过通道 3 和喷嘴 2 压入铸型 1 的型腔中 3）铸件凝固后，打开压铸型，顶出铸件 4）活塞上升，金属液从金属吸取孔 7 中流入立缸 5）再进行下次压铸
使用范围	只适用于压铸低熔点的铅合金、锡合金、锌合金、镁合金（AZ91、AM60）等有色金属压铸件 对于薄壁、尺寸不太大、对强度要求不很高的压铸件倾向于热室压铸

表 12-56　热室压铸机的基本参数（JB/T 6309.2—2005）

合型力/kN　≥		630	1000	1600	2500	4000	6300
拉杆之间的内尺寸（水平/mm）×（垂直/mm）　≥		280 × 280	350 × 350	420 × 420	520 × 520	620 × 620	750 × 750
动型座板行程/mm　≥		250	300	350	400	450	600
压铸型厚度/mm	最小	150	150	200	250	300	350
	最大	350	450	550	650	750	850
压射位置（0 为中心）/mm		0	0	0	0	0	0
		—	50	60	80	100	150
压射力/kN　≥		50	70	90	120	150	200
压室直径/mm		60	70	80	90	100	110
最大金属浇注量/kg		1.2	2.5	3.5	5.0	7.5	12.5
液压顶出器顶出力/kN　≥		—	80	100	140	180	250
液压顶出器行程/mm　≥		—	65	80	100	120	250
一次循环时间/s　≥		4	5	6	7	8	10

注：根据用户需要，允许生产合型力为 250N、160N、100N、63kN 的热室压铸机。

12.3.3　压铸机的安全操作规程

1）严格遵守压铸机说明书中所规定的安全操作规程。

2）保持工作地的清洁卫生。

3）一切工具应定位放置。

4）机器各活动部位应定时加润滑油。

5）工作时按要求起动压力泵。

6）机器开动后要进行五项检查：①检查压力泵的工作情况；②检查压力自动控制的情况；③检查管路中各部分的工作压力（观察压力表的压力值）；④检查储压罐最低压力阀的工作情况；⑤检查压力油的温度和纯度情况。

7）调整压力时，要严格按液压原理图进行。

8）电气系统按电路图进行检查调整。

9）射压时，操作人员不得站在模具分型面的空间平面位置上（机器如有防护门，压射前先把门关好），以防金属液喷射，造成人身事故。

10）检查压射冲头与压室的配合情况。

11）检查压射力时，必须在模具闭合状态下进行：①卧式冷室压铸机，要在压室内塞入干净的棉纱后，才允许试压；②立式冷室压铸机，要在压室内下压射冲头顶面垫以涂料后，进行试压。

12）模具预热时，要有专人看管，预防发生火情。

13）过滤器（即压力油的过滤器）要定时清洗。

14）两人以上操作一台机器时，必须配合协调，并由其中一人统一指挥。

12.4　压铸模

压铸模是压铸生产中重要的工艺装备。它应与所选用的压铸机配套；满足铸件的基本要求；安全可靠、操作方便、好使用；并具有合理的经济性。

12.4.1　压铸模的结构

常用的压铸模由两半组成，分别称之为定模和动模。定模安装在压铸机的定模安装板上，与压铸机的压室连通。动模安装在压铸机的动模板上，随动模板一起移动完成开合模动作。也有更复杂的压铸模，不止两个半模。压铸模的结构如图 12-2 所示。

压铸模组成部分有：成型部分、模架部分、浇道系统、排溢系统、顶出机构、导向零件。此外，还有抽芯机构、冷却系统、加热系统、安全装置以及紧固零件（螺钉、销钉等）。其中，成型部分是决定铸件几何形状和尺寸精度的部位，形成铸件外表面的称为型腔，形成铸件内表面的称为型芯。

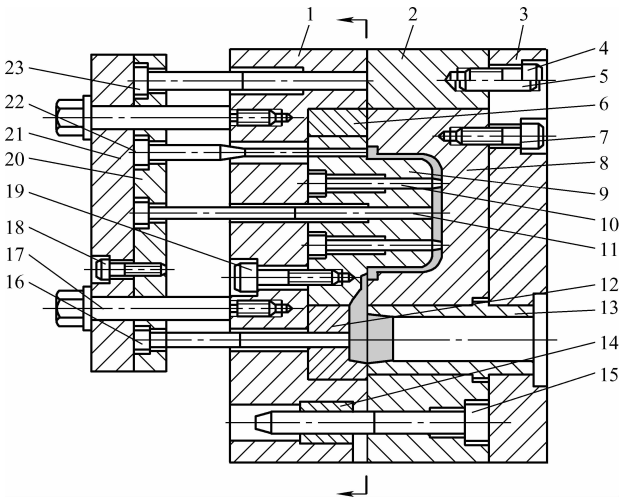


图12-2　压铸模的结构

1—动模模板　2—定模套板　3—定模座板　4、7、18、19—螺钉　5—销钉　6—镶块　8—定模镶块　9—动模镶块　10—型芯　11、22—推杆　12—浇道镶块　13—浇口套　14—导套　15—导柱　16—浇道推杆　17—导钉　20—推杆固定板　21—挡板　23—复位杆

12.4.2　压铸机的选择

1. 选择压铸机类型

通常选用卧式冷室压铸机。对于锌合金则以热室压铸机为宜。对于圆筒形铸件或中心辐射状铸件，当允许开设中心浇道时，也常采用立式冷室压铸机。

2. 确定压铸机的吨位

当压铸机的类型选定后，先（根据铸件的投影面积及压射比压）计算胀型力。根据胀型力的大小确定压铸机吨位。当压铸机的锁模力大于胀型力，则可以认为该压铸机可以选用。即

$$F_{锁} = kF_{胀}$$

式中　$F_{锁}$——锁模力（kN）；

$F_{胀}$——胀型力（kN）；

k——安全系数，冷室压铸机取 $k=1.2$，热室压铸机取 $k=1.3\sim1.5$。

3. 核算压铸机的技术参数

压铸机吨位确定后，核算技术参数（压铸机的开档尺寸、压室容积等）。

（1）压铸机的开档尺寸　压铸机的开档尺寸是计算压铸模厚度和允许开模距离的依据。通常，压铸机开合模行程 $H_{行程}$ 应大于等于动模厚度 H_1 + 定模厚度 H_2 + 动模成型零件高度 H_3 + 定模成型零件高度 H_4 + 铸件及浇道的总厚度 δ + 取件时铸件与动模、定模之间的最小距离 a（$a=5$mm）。

（2）核算压铸机的压室容积　查看压铸机的说明书,核算压室允许浇入的金属量。

（3）其他　压铸模的外形尺寸和压铸模的局部尺寸，都不应与机器零件相碰，

也不应超出允许的范围。

12. 4. 3　分型面

分型面是动模和定模的分界面。分型面的形式和位置对压铸模结构有重要影响。分型面确定后，压铸模的基本结构随之确定。分型面的基本形式有：平直分型面（压铸模制造方便，应用广泛）；倾斜分型面；阶梯分型面（浇注系统开在一个阶梯面上，排溢系统开在另一个阶梯面上，有利于合金液的充填和排气）；曲面分型面（根据铸件特点而开设的，应用很少）。分型面位置不同，铸件位置也有以下三种不同形式：铸件型腔完全在定模内；铸件型腔完全在动模内；铸件型腔分别布置在动模和定模内。

选择分型面时应考虑以下原则：①压铸件优先采用规则取向；②分型面置于具有最大投影面积的平面或断面；③尽量采用平直分型面；④应使型腔具有良好的溢流排气条件；⑤尽量少使用侧抽芯；⑥开模时保证压铸件随动模移动；⑦避免分型面影响压铸件精度；⑧压铸件基准面尽量避免与分型面重合；⑨有利于布置浇注和排溢系统；⑩不影响压铸件外观，便于情理；⑪避免使压铸模出现易损部位。应该注意分型方案不是唯一的，一个压铸件可能有不同分型方案，比较其优缺点，从中选优。

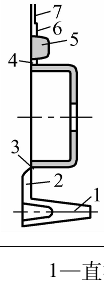
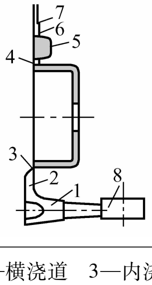
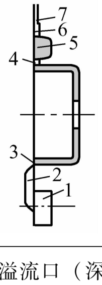
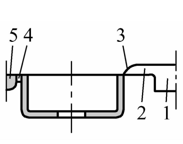
12. 4. 4　浇注技术

压铸浇注技术包括浇注系统和排溢系统两个方面，是压铸生产中极为重要的组成部分。浇注系统是引导金属液以一定方式填充型腔的通道，控制和调节金属液的流动方向、排气条件、模具热状态、压力传递、填充时间、内浇道处的流速等。压铸的浇注系统由余料、直浇道、横浇道、内浇道组成。

溢流系统是熔融金属在填充型腔过程中，排除型腔内的气体、涂料余烬、流动金属前沿的冷金属的通道和处所。排溢系统由溢流槽和排气道两部分组成。排气道的截面积一般等于内浇道截面积的 20% ~50%。

各种压铸机的浇注系统和溢流排气系统见表 12-57。

表 12-57　各种压铸机的浇注系统和溢流排气系统

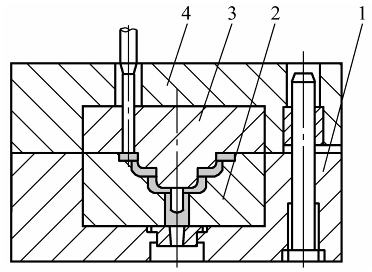
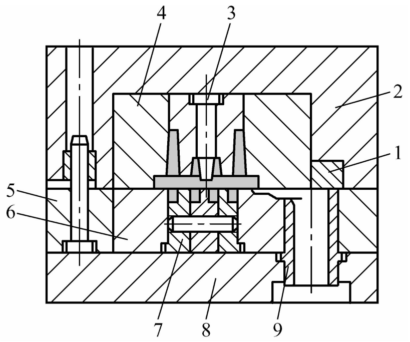
压铸机类型	热室压铸机	立式冷室压铸机	卧式冷室压铸机	全立式冷室压铸机
浇注系统和溢流排气系统				
说明	1—直浇道　2—横浇道　3—内浇道　4—溢流口（深度为 0. 3 ~1. 5mm） 5—溢流槽（深度 6 ~16mm）　6—排气口（深度，锌合金取 0. 005 ~0. 2mm，铝、镁合金取 0. 1 ~0. 2mm，铜合金取 0. 15 ~0. 3mm） 7—排气道（深度≤0. 1mm）　8—余料			

12. 4. 5　压铸模成型零件

1. 压铸模成型零件的结构

模具内形成铸件形状的零件，称为成型零件。铸模成型零件的结构分为整体式结构和镶拼式结构两种。其特点及应用场合见表 12-58。

表 12-58　成型零件的结构形式

分类	整体式结构	镶拼式结构
图示	 1—定模模板　2—定模镶块 3—动模镶块　4—动模模板	 1—浇道镶块　2—动模模板　3—动模型芯 4—动模镶块　5—定模套板　6—定模镶块 7—定模镶片　8—定模座板　9—浇口套
概念	整体结构是把成型部分直接在镶件上加工成型	成型部分是由型芯和两块以上的镶块镶拼而成
特点	1）强度高，刚性好 2）铸件表面上没有镶拼接缝 3）易于设置冷却水道 4）模具寿命较高 5）成型部位损坏后，更换周期长，成本高	1）对复杂的成型表面能简化加工工艺，提高模具制造质量，容易满足组合镶块成型部分的精度要求 2）节约材料，降低成本 3）有利于易损件的修理和更换 4）大型模具的镶块合理镶拼后，便于加工和热处理 5）镶块的料坯较易锻造，组织均匀，质量较高
使用场合	1）一般用于压铸铜合金铸件 2）铸件形状简单，镶块尺寸不大 3）铸件形状虽较复杂，但型腔浅，加工较容易 4）型腔加工虽较难，但使用镶拼结构镶块强度极低，不能采用镶拼结构 5）整体式结构适合采用电加工方法加工，经济效益较好	这种结构形式被广泛采用，如 1）型腔较深，或大型模具 2）多型腔的模具 3）型腔表面较复杂的模具

2. 成型零件的装配固定形式（见表 12-59、表 12-60）

表 12-59　镶块的三种装配固定形式

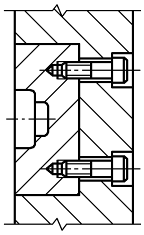
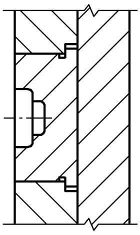
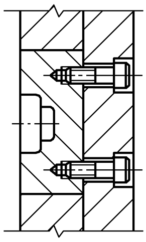
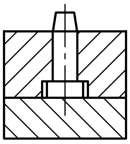
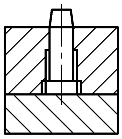
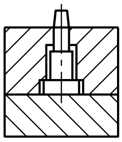
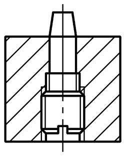
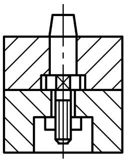
镶块的装固形式			
说明	模板为不通孔时，镶块是圆形或非圆形，采用螺钉装固	模板为通孔时，镶块带凸台用压板压紧。但装卸不方便，若铸件包紧力大，因凸台强度低而发生断裂，造成无法修理，报废整个镶块	模板为通孔，采用座板或支承板时，最为常见的是螺钉装固。装拆方便，得到广泛应用

表 12-60　型芯的五种装配固定形式

型芯装固形式					
说明	用压板压紧。这是常用的方法	为减少型芯的配合长度，将孔的后部扩大	为提高小直径型芯刚度，减小热处理的变形，将型芯后部的直径加大	为缩短小直径长型芯的长度，可用螺堵压紧	型芯的直径较大时，用螺钉紧固

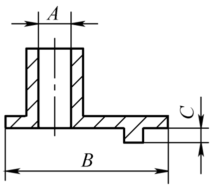
3. 成型尺寸的计算

成型零件上构成铸件形状的工作部分的尺寸称为成型尺寸。成型尺寸分为型腔尺寸、型芯尺寸、位置距离尺寸三种类型。计算公式见表 12-61。压铸合金的综合收缩率 K 见表 12-62。

表 12-61　成型尺寸计算公式

分类	计 算 公 式	公 式 说 明
型腔尺寸	$Y^{+\delta}_{0}=(Y_0+KY_0-n\Delta)^{+\delta}_{0}$	Y—计算后的成型尺寸(mm) Y_0—铸件该部位的极限尺寸(mm) n—模具修正系数。模具的型腔和型芯一般取 0.5～0.8，正常情况下取 0.7，但中心距尺寸不修正 Δ—铸件该部位的尺寸公差 δ—模具制造公差。δ 值可按 GB/T 1804—2000 中的 IT8～IT10 级精度选取；也可按 Δ 值的大小选取，当 Δ 值小时，选取 $\delta=(1/4\sim1/5)\Delta$；当 Δ 值大时，选取 $\delta=(1/6\sim1/8)\Delta$ K—综合收缩率(见表 12-65)
型芯尺寸	$Y^{0}_{-\delta}=(Y_0+KY_0+n\Delta)^{0}_{-\delta}$	
位置距离尺寸	$Y\pm\delta=(Y_0+KY_0)\pm\delta$	

表 12-62　压铸合金的综合收缩率 K

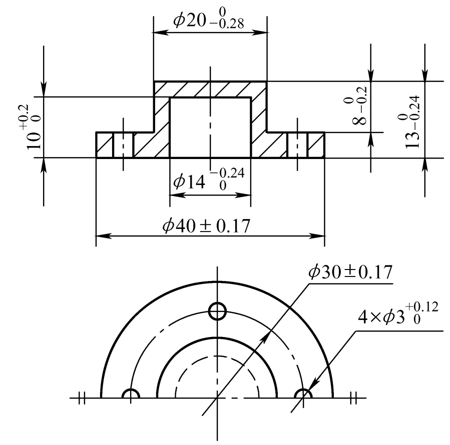
图示	压铸合金		收缩受阻碍程度		
			大(A)	中等(B)	小(C)
			收缩率 K(%)		
	锌合金		0.3～0.4	0.4～0.5	0.5～0.6
	铝合金	铝硅合金	0.3～0.5	0.4～0.6	0.5～0.7
		铝硅锌合金	0.3～0.5	0.4～0.6	0.5～0.7
		铝硅铜合金	0.4～0.6	0.5～0.7	0.6～0.8
		铝镁合金	0.4～0.6	0.5～0.7	0.6～0.8
	镁合金		0.4～0.6	0.5～0.7	0.6～0.8
	铜合金		0.5～0.7	0.7～0.9	0.8～1.0

注：在取 K 值时，可遵循以下取值规律：①薄壁铸件取小值；②大型铸件取小值；③留模时间长的铸件取小值；④复杂的铸件取小值；⑤同一铸件的不同尺寸部位的 K 值有可能不同；⑥根据实际情况加以综合考虑。

铝合金压铸件各部位成型尺寸的计算见表 12-63。

表 12-63　成型尺寸计算案例

铝合金压铸件铸件图



各部位尺寸计算　　　　（单位：mm）

尺寸类型	公称尺寸及公差	K(%)	n	δ	计算
型腔尺寸 $Y^{+\delta}_{0}=(Y_0+KY_0-n\Delta)^{+\delta}_{0}$	$\phi40\pm0.17$	0.5	0.7	$\frac{1}{4}\Delta$	$Y^{+\delta}_{0}=40.17+0.5\%\times40.17-0.7\times0.34=40.14^{+0.085}_{0}$
	$\phi20^{0}_{-0.24}$				$Y^{+\delta}_{0}=20+0.5\%\times20-0.7\times0.24=19.95^{+0.06}_{0}$
	$13^{0}_{-0.24}$	0.6	0.7		$Y^{+\delta}_{0}=13+0.6\%\times13-0.7\times0.24=12.93^{+0.06}_{0}$
	$8^{0}_{-0.2}$				$Y^{+\delta}_{0}=8+0.6\%\times8-0.7\times0.2=7.9^{+0.05}_{0}$

（续）

尺寸类型	公称尺寸及公差	K（%）	n	δ	计算
型芯尺寸 $Y_{-\delta}^{\ 0}=(Y_0+KY_0+n\Delta)_{-\delta}^{\ 0}$	$\phi14_{\ 0}^{+0.27}$	0.4	0.8	$\frac{1}{4}\Delta$	$Y_{-\delta}^{\ 0}=14+0.4\%\times14+0.8\times0.24=14.25_{-0.06}^{\ 0}$
	$10_{\ 0}^{+0.2}$	0.6			$Y_{-\delta}^{\ 0}=10+0.6\%\times10+0.8\times0.2=10.22_{-0.05}^{\ 0}$
	$\phi3_{\ 0}^{+0.12}$	0.4			$Y_{-\delta}^{\ 0}=3+0.4\%\times3+0.8\times0.12=3.12_{-0.03}^{\ 0}$
位置距离尺寸 $Y\pm\delta=(Y_0+KY_0)\pm\delta$	$\phi30\pm0.14$	0.5		$\frac{1}{4}\Delta$	$Y\pm\delta=30+0.5\%\times30=30.15\pm0.07$

4. 成型零件的材料及热处理

（1）成型零件的材料　常采用热作模具钢，其牌号为4Cr5MoSiV1和3Cr2W8V。其化学成分见表12-64。

表12-64　模具钢3Cr2W8V、4Cr5MoSiV1的化学成分（质量分数）　（%）

牌号	C	Si	Mn	S、P≤	Cr	Mo	W	V	Al	Ni
3Cr2W8V	0.3～0.4	≤0.40	0.2～0.4	0.03	2.2～2.7	—	7.5～9	0.2～0.5	0.2～0.5	0.2～0.7
4Cr5MoSiV1	0.32～0.45	0.8～1.2	0.2～0.5	0.03	4.75～5.5	1.1～1.75	—	0.8～1.2	0.2～0.7	1.4～1.8

（2）模具成型材料的热处理方法　目的为保证在高温下有较好的尺寸稳定性，在工作状态下变形最小；提高成型表面的耐磨性和抗粘附性，需要对成型零件进行热处理。模具常用热处理方法如下：

1）预备热处理

①退火。以消除锻造应力，获得适宜硬度，便于机械加工。

②稳定处理。以消除机械加工应力，减少淬火时的变形。

③调质处理。以细化晶粒，改善加工性能，为最终热处理创造条件。

2）最终热处理

①淬火。以提高材料的硬度、强度等综合力学性能。硬度为270～300HBW。

②回火。以降低脆性，消除淬火应力，稳定组织，获得所需的硬度和力学性能。回火后，压铸锌、铝、镁合金时：35～50HRC；压铸铜合金时：型腔35～40HRC，型芯40～45HRC。

3）表面热处理

①渗氮。渗氮处理成型零件变形小，提高成型零件表面硬度，增强疲劳强度和耐蚀性。渗氮层深度为0.10～0.15mm，硬度为630～700HV。

②碳氮共渗。共渗时成型零件变形小，共渗层深度为0.08～0.15mm，硬度为55～60HRC。

12.4.6　抽芯机构、顶出机构及冷却系统

1. 抽芯机构

模具内构成铸件形状的成型空腔的位置确定后，凡是阻碍铸件沿模具垂直于分型面方向取出的成型部分都必须做成活动的，在开模前或在开模过程中，活动的成型部分先行脱离铸件，或者随同铸件一起出模并便于拆除脱开。对于带动这种活动的成型部分自行脱出铸件的机构，称为抽芯机构。

最常用的抽芯机构有以下三种：①斜拉杆抽芯机构；②斜滑块抽芯机构；③液压抽芯器。

其中，斜拉杆抽芯机构是以机器的开模力为抽芯动力。抽芯动作是在开模过程中完成的，抽芯距离不可能太大。抽芯距离不大于100mm，推荐采用。若抽芯方向与分型面呈夹角时，其夹角不大于20°。斜拉杆抽芯机构的结构简单，制造方便，安全可靠，生产率高，可有较大的抽拔力，使用较为普遍。

斜拉杆的形式有三种：圆截面、带扁圆截面和矩形截面。其中，圆截面形式的斜拉杆，具有制造简单、装配方便、更换容易等特点。

2. 顶出机构

使铸件从模具的成型零件上脱出的机构，称为顶出机构。

顶出机构由五部分组成：①顶出零件（如推杆、推管、成型推板、斜滑块等）；②复位零件（如复位杆、先回程机构中的摆杆和三角块、成型推板、斜滑块等）；③导向零件（如导钉、推板导柱、推板导套等）；④限位零件（如导钉的台阶、限位柱等）；⑤结构零件（如推板固定板、推板、连接零件等）。

顶出机构有五种类型：①推杆顶出，顶出时，接触铸件的是杆状零件；②排管顶出，顶出时，接触铸件的是管状零件；③推板顶出，顶出时，接触铸件的是板状零件；④推杆—推管顶出，同时具有推杆和推管顶出的特点，一般情况，推杆只起辅助作用，以防铸件粘附和变形；⑤推杆—推板顶出，同时具有推杆和推板顶出的特点，一般情况，推杆只起辅助作用，以防铸件粘附和变形。

顶出机构的动力来源有两种：机动和液压。其中，液压顶出器是机器附设装置。其特点是：动力来源为机器管路系统的压力；顶出动作平稳；顶出器的平板上设有若干顶杆位置，可根据模具推板的大小和位置，适当选择顶杆位置；顶出行程一般可以任意调节；顶出时间可以控制；可实现顶出机构提前复位，使有先回程要求的模具结构简化；液压顶出器由电器联锁，安全可靠。

在顶出零件的作用下，铸件从模具的成型零件上脱出的距离，称为顶出距离。顶出距离 s 一般按动模成型零件凸出的最大高度 H 来考虑，通常取为

$$s > \frac{H}{3} \qquad (12\text{-}1)$$

全自动压铸机生产时

$$s = \frac{H}{3} + (3 \sim 5)\,\text{mm} \qquad (12\text{-}2)$$

3. 模具的冷却

压铸模的冷却系统是延长模具寿命，保证铸件质量，提高生产效率的重要措施之一。常用冷却方法有两种：风冷和水冷。风冷的特点是：采用鼓风机或压缩空气；不但能冷却模具，还能将涂料吹匀，驱散涂料中的挥发气体，减少铸件气孔；冷却速度慢。水冷的特点是：模具上设置冷却水通道，使循环水通入成型镶块或型芯内，因此，增加了模具结构的复杂程度；冷却效率高，能有效降低型腔表面的温度；不可使用低于室温的水冷却模具；用于要求散热量大的模具。

12.4.7　压铸模的基本零件

1. 模板

模板是压铸模的构架零件，模具的各部分按一定的位置和程序，在模板内加以组装和固定。模板按其组合的位置和作用分为套板和座板。模板的厚度 δ_1 是根据铸件的高度 h 来确定的：

$$C = \frac{h}{\delta_1} \tag{12-3}$$

一般 C 不大于0.75（即3/4），常用的应为0.5～0.66（即1/2～2/3），只有在个别情况下，才将 C 取为1（即 $h=\delta_1$）。

模板的内框尺寸 a 和 b 是根据铸件的投影最大外廓尺寸，每边加出一个 e 尺寸，从而决定了 a 和 b。通常 e 取为20～50mm。如果在 e 尺寸范围内设有较大的溢流槽时，e 尺寸应适当加大。

模板的长度 A 和宽度 B 是在考虑了结构上和工艺上所要求的大小后而设计的，然后再考虑强度问题。必要时，则应进行强度计算，以便确定模框厚度 δ 的大小，如图12-3所示。

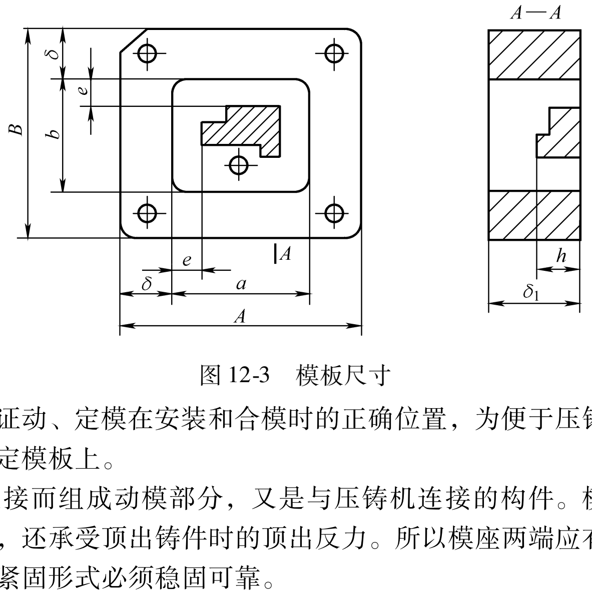


图12-3　模板尺寸

2. 通用系列零件

（1）导准杆　模板的导准杆包括导柱和导套。在压铸模中起着定位和导向作用，借以保证动、定模在安装和合模时的正确位置，为便于压铸生产的操作，通常把导柱设置在定模板上。

（2）模座　模座与动模板连接而组成动模部分，又是与压铸机连接的构件。模座支承模体承受压铸机的锁模力，还承受顶出铸件时的顶出反力。所以模座两端应有足够的受压面积，模座与模板的紧固形式必须稳固可靠。

（3）浇口套　浇口套的尺寸系列有：卧式机器Ⅰ、Ⅱ型浇口套尺寸系列；立式机器浇口套尺寸系列；热室机器浇口套尺寸系列，可供查阅参考选用。

（4）起重零件　主要有吊钩螺钉、吊环螺钉和吊柱螺钉。吊钩螺钉供中小型模具起重用。吊柱螺钉供搬运大型模具使用，装在模具两个侧面。

12.4.8　压铸模的技术要求

1. 压铸模零件常用材料（见表12-65）

表12-65　压铸模零件常用材料

压铸模零件名称	材料	热处理硬度HRC	备　注
镶块、型芯等成型零件① 浇口套、分流器和浇注系统零件 特殊要求的顶出零件②	3Cr2W8V 或4Cr5MoSiV1	淬火+回火，40～45HRC 氮化处理，630～700HV	渗氮前应调质处理
各种模板零件 推板、压板、垫块等结构零件	45	—	—
一般顶出零件、复位零件 导柱、导套零件 顶出机构的导滑零件③ 斜拉杆、滑块、楔紧块、各种机构的摆轮、滑轮、三角块等零件	T10A	淬火+回火，50～55HEC	可用T8A代替
模座、座架、垫块、顶杆固定板、挡板	45或Q235A	—	—

①　压铸锌、镁、铝合金的成型零件，经淬火工艺处理后，成型面进行软氮化或氮化处理，氮化层深度为0.08～0.15mm，硬度≥600HV。

②　是指工作时受热过高的部位，滑动配合面过大，受力大而强度弱的顶出零件。

③　出机构的导钉，常用45钢。

2. 压铸模零件的公差配合（见表12-66）

表12-66　压铸模中各部分相配零件的配合公差

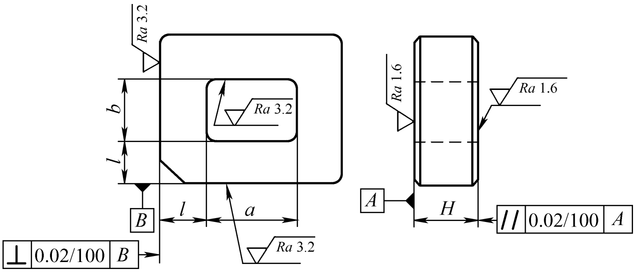
相配零件		尺寸部位	配合公差	
			孔	轴
成型零件 顶出零件①		固定	H8	g7
		活动	H8	e7
导准件② 抽芯机构零件		固定	H7	r6
		活动	H8	F7
顶出机构的导向零件		固定	H8	—
		活动	H8	f8
零件的凸台	成型零件	—	+0.05mm	−0.03mm
	推杆			
	导准件		+0.1mm	−0.05mm

①　推管外径和与推管内径相配合的型芯直径的配合公差，选为e7。

②　准件的固定部分公差，选为r6。

3. 模板的基准面、模框厚度 t 的偏差及形位公差（见表 12-67）

表 12-67　模板的基准面、模框厚度 t 的偏差及形位公差



a 和 b 的基本尺寸/mm	t 的偏差/mm	H
≈120	±0. 020	按需要确定
120 ~ 250	±0. 025	按需要确定
250 ~ 500	±0. 030	按需要确定
500 ~ 800	±0. 040	按需要确定

4. 压铸模不同零件工作表面的表面粗糙度（见表 12-68）

表 12-68　压铸模不同零件工作表面的表面粗糙度

模具零件名称	表面位置	表面粗糙度
成型零件、浇口零件、排溢系统	与熔融金属接触的工作表面	Ra 0.2
推杆、斜拉杆、滑块等零件	滑动配合面	Ra 0.8
镶块、型芯、推杆、反推杆、分流器、浇口套等	各种零件之间的接触表面	Ra 3.2
非工作表面、非配合表面以及非接触表面	各种零件的其他表面	Ra 6.2 或 Ra 12.5

5. 压铸模总成应注明的技术条件要求

1）模具的最大外形尺寸［（长/mm）×（宽/mm）×（高/mm）］（模具厚度必须大于机器的最小开档）。

2）选用的机器型号。

3）选用的压室直径、或喷嘴直径以及定位孔的直径和深度。

4）浇注系统的主要尺寸。

5）选用压铸机的顶出形式（中心顶出、顶杆定出，以及选用顶杆位置的示意图）及顶出的距离。

6）使用有关附件的规格。

7）特殊模具结构的动作过程说明。

8）要求各活动部位灵活可靠，无卡住现象。

9）浇注系统待试模后修至填充良好。

10）在动、定模模板的侧面打钢印：产品名称、模具图号、产品图号。

6. 压铸模的外形和安装尺寸的技术要求

1）模板的外缘倒角 Cn（一般 n 取 2～3mm）。

2）模具与机器安装定位孔的直径和深度应符合所选用的机器要求。

3）模具上方在动、定模均应有起重用的吊钩或吊环螺钉孔，同时，模具还应有机加工和合模用的吊钩螺钉孔。

4）模具的紧固螺钉均应采用内六角螺钉，或外六角螺钉（M6 以下的螺钉除外）。

5）模具分型面上不允许有穿透的螺钉孔、销钉孔。模具上的工艺孔和辅助孔都应堵塞并与分型面平齐。

7. 模具总成的精度要求

1）模具分型面与安装平面或支撑平面之间的平行度偏差，在200mm 长度内不得大于0.05mm。

2）模具安装在机器上时，其分型面应保持良好的闭合状态。允许有不大于0.05mm 的局部间隙。

3）导柱、导套在装配后，其轴线与模板平面的垂直度偏差，在200mm 内不大于0.03mm。

4）成型镶块、浇注系统零件的分型面不允许低于模板分型面，其高出不得大于0.1mm。

5）模具的各活动零件装配后应灵活，在室温状态下用手施力时，各相互关联的活动配合部分不应产生卡住现象。

6）在模具的成型表面和分型面上的顶出零件和复位杆，应仔细校准，应尽可能地平齐。允许顶出零件高出成型表面0.1mm（生产时按铸件的技术要求进行修整）。复位推杆则应与定模该处的分型面接触为准，但应低于分型面不大于0.005mm。

7）推杆在推杆固定板中应灵活转动，允许其轴向串动量不大于0.1mm。

8）斜拉杆抽芯的模具，抽芯结束后，允许滑块与挡块之间有不大于1.5～2mm 的间隙。

9）动、定模有相互配合的面时，合模后，应有较明显的相配合印痕，分型面上只有轻微的接触点。

10）排气槽应呈曲折状引出，其深度一般为0.1～0.2mm，严禁将排气槽从型腔直接引向操作人的一方。

12.5 压铸工艺

压铸机的压射动作，是根据工艺要求来设定的。压射的工艺要求不同，可以设定不同的压射动作。典型的压射过程可分为三个阶段：慢压射阶段（金属堆聚阶段）→快压射阶段（金属填充阶段）→增压阶段（金属液凝固阶段）。

12.5.1 压射比压

压力来源是高压泵。压力通常用压射比压来表示。压室内金属液在单位面积上所受的压力，称为压射比压。推荐的各种压铸合金的压射比压见表 12-69。

表 12-69 各种压铸合金的压射比压 （单位：MPa）

序　　号	压铸合金	普通铸件	表面质量高的铸件	受力铸件
1	锌合金	≈30	30 ~ 40	40 ~ 60
2	铝合金	≈50	50 ~ 70	70 ~ 100
3	镁合金	≈40	40 ~ 60	60 ~ 80
4	铜合金	≈50	50 ~ 80	80 ~ 100

注：压铸件壁厚大于 3mm 时，取表中范围的上限。

12.5.2 速度

速度是压铸填充过程中能获得轮廓清晰、表面光洁的压铸件的重要工艺因素。通常用内浇道速度表示。内浇道速度是金属液在压力作用下，通过内浇道进入型腔时的线速度。一般，描述和设定的内浇道速度常用填充时段内的平均线速度表示。常用填充时段内的内浇道平均线速度见表 12-70。

表 12-70 铸件壁厚与填充时间、内浇道速度关系推荐值

铸件平均厚度 δ/mm	填充时间 t /s	内浇道速度 v_n/（m/s）	铸件平均厚度 δ/mm	填充时间 t /s	内浇道速度 v_n/（m/s）
1	0.010 ~ 0.014	46 ~ 55	5	0.048 ~ 0.072	32 ~ 40
1.5	0.014 ~ 0.020	44 ~ 53	6	0.056 ~ 0.084	30 ~ 37
2	0.018 ~ 0.026	42 ~ 50	7	0.066 ~ 0.100	28 ~ 34
2.5	0.022 ~ 0.032	40 ~ 48	8	0.076 ~ 0.116	26 ~ 32
3	0.028 ~ 0.040	38 ~ 46	9	0.088 ~ 0.138	24 ~ 29
3.5	0.034 ~ 0.050	36 ~ 44	10	0.100 ~ 0.160	22 ~ 27
4	0.040 ~ 0.060	34 ~ 42	—	—	—

注：1. 表中的 $\delta=\dfrac{\delta_1A_1+\delta_2A_2+\delta_3A_3+\cdots}{A_1+A_2+A_3+\cdots}$。式中 δ_1、δ_2、δ_3——铸件各个部位的壁厚（mm）；A_1、A_2、A_3——壁厚为 δ_1、δ_2、δ_3 部位的面积（mm^2）。

2. 表中数据是以铝合金为基础，也适合于其他合金。实际的填充时间是锌合金为最短，内浇道速度镁合金为最高。

12.5.3 温度

压铸过程的热因素，是提供良好的填充条件的基本因素之一。金属液温度和模具工作温度见表12-71。

表12-71 金属液温度和模具工作温度的推荐值

序 号	压铸合金	金属液温度/℃	模具工作温度/℃	序 号	压铸合金	金属液温度/℃	模具工作温度/℃
1	锌合金	410～450	150～200	3	镁合金	610～680	240～300
2	铝合金	620～720	210～300	4	铜合金	940～980	320～420

注：1. 金属液温度是指金属液自压室至填充型腔这个时段的平均温度。一般以高于压铸合金液相线温度10～20℃为宜或稍高。

2. 在金属液首次压射入模具型腔之前，应对模具预热至150～180℃为宜。

12.5.4 时间

压铸过程的时间参数（含填充时间、持压时间、留模时间）与各种工艺因素有着极为密切的关系，故在压铸工艺中非常重要。

1. 填充时间

金属液自通过内浇道开始进入模具型腔到充满型腔的过程所需的时间，称为填充时间。关于填充时间的选用见表12-72。

表12-72 推荐的铸件平均壁厚与填充时间、内浇道速度的关系

铸件平均壁厚 δ/mm	填充时间 t /s	内浇道速度 v_n/（m/s）	铸件平均壁厚 δ/mm	填充时间 t /s	内浇道速度 v_n/（m/s）
1	0.010～0.014	46～55	5	0.048～0.072	32～40
1.5	0.014～0.020	44～53	6	0.056～0.084	30～37
2	0.018～0.026	42～50	7	0.066～0.100	28～34
2.5	0.022～0.032	40～48	8	0.076～0.116	26～32
3	0.028～0.040	38～46	9	0.088～0.138	24～29
3.5	0.034～0.050	36～44	10	0.100～0.160	22～27
4	0.040～0.060	34～42	—	—	—

注：表中数值依铝合金为基础，也适用于其他合金，实际的填充时间锌合金为最短，内浇道速度镁合金为最高。

2. 持压时间

金属液充满型腔后，压射力继续保持作用，直到金属液完全凝固为止的这段时间，称为持压时间（见表12-73）。

表 12-73　常用的持压时间

压铸合金	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金
	持压时间/s			
铸件壁厚 <2.5mm	1～2	1～2	1～2	2～3
铸件壁厚 2.5～6mm	3～7	3～8	3～8	5～10

3. 留模时间

压铸过程中，从持压终了至开模顶出铸件的这段时间，称为留模时间（见表 12-74）。

表 12-74　压铸合金的留模时间　（单位：s）

压铸合金	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金
壁厚≤3mm	5～10	7～12	7～12	8～15
壁厚 3～4mm	7～12	10～15	10～15	15～20
壁厚 >5mm	20～25	25～30	15～25	25～30

注：对于在热室压铸机上生产并是薄壁件（<3mm）时，则留模时间还应再短些。

12.5.5　余料饼厚度

针对冷室压铸机而言，在射压过程完成时，尚留有一定厚度的金属余料在压室内，称这一金属余料为“余料饼”。适宜的余料厚度 $<\frac{1}{2}$余料饼直径，或适宜的余料厚度 $<\frac{1}{2}$压室的直径。

12.5.6　定量浇注

针对冷室压铸机而言，在压铸工艺中，每一次压铸循环，要求浇入量精确（或变化很小，即稳定性），称此为“定量浇注”。

金属液的浇入量 =（压铸件 + 浇道系统 + 排溢系统 + 余料饼）金属液总重量

12.5.7　压室充满度

压铸时，浇入压室的金属液的体积占压室容积的百分数，称为“压室充满度”（简称充满度）。充满度的大小，直接影响压铸件的含气率（即气孔率）。

一般的充满度为 50%～75%。实际上，小于 50%，甚至只有 30%，也是常有的情况。

12.5.8　压铸用涂料

压铸用涂料具有以下作用：①对铝合金而言，预防粘模；②减小压铸模的导热，改善金属液的成型性；③避免金属液对压铸模的直接冲刷，改善压铸模的填充条件；

④对压铸模的活动部位起润滑作用。

压铸用的涂料很多，各企业根据本企业使用效果和经验确定某种涂料，也可在市场上购买成品涂料。

1. 压铸用涂料的配比、配制方法及适用范围（见表12-75）

表12-75 压铸用涂料的配比、配制方法及适用范围

序号	原材料	配比（质量分数,%）	配制方法	适用范围
1	聚乙烯 煤油	3~5 97~95	将聚乙烯小块泡在煤油中，加热至80℃，熔化而成	用于铝合金、镁合金成型部位
2	氧化锌 水玻璃 水	5 1.2 93.8	将水和水玻璃一起搅拌，然后倒入氧化锌搅拌	用于大、中型铝合金、锌合金铸件
3	硅橡胶 铝粉 汽油	3~5 1~3 余量	硅橡胶溶于汽油中，使用时加入质量分数为1%~3%的铝粉	用于铝合金压铸件表面要求光洁的场合

2. 压铸用的成品涂料（见表12-76）

表12-76 压铸用的成品涂料

序号	名称	配制方法	应用范围
1	胶体石墨（水剂、油剂）	成品	1）用于铝合金防粘模 2）用于压射冲头、压室及有咬合的部位
2	天然蜂蜡，或石蜡	成品	1）适用于各种压铸合金 2）用于型腔及浇道部位
3	DEY-1 型水基涂料	成品 将成品加水稀释，质量比1:15;现用稀释质量比1:10	1）用于冲头以及压室 2）用于型腔防粘模
4	DEY-1 型脂基涂料	成品 手工涂刷不稀释	用于压射冲头和压室润滑
5	锭子油	成品（30#、40#）	用于锌合金润滑
6	黄血盐	成品	用于铜合金作清洗剂
7	乳化脱模剂	成品（15#、24#）	用于压铸铝合金、锌合金润滑

3. 对涂料的要求与涂刷方法

（1）对涂料的要求 ①在高温下保持良好的润滑性；②对压铸模和压铸件的材料没有腐蚀性；③挥发点低，在100~150℃时稀释剂能很快的挥发；④在高温下不析出，也不分解出有害气体，同时，也不残留污物；⑤性质稳定，在空气中不使稀释剂很快挥发变浓。

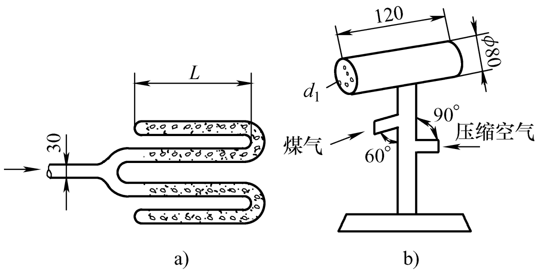
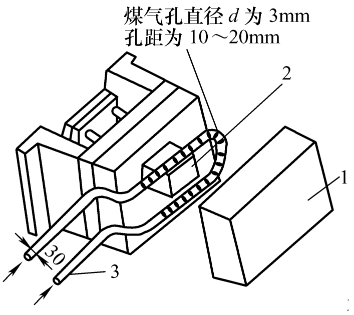
（2）涂刷要求　①涂刷要求均匀，防止过厚；②涂刷后，应等涂料中的溶剂挥发后，再合模浇注。否则，型腔内气体量增多，易产生气孔，甚至填充困难，造成废品。

12.6　压铸生产

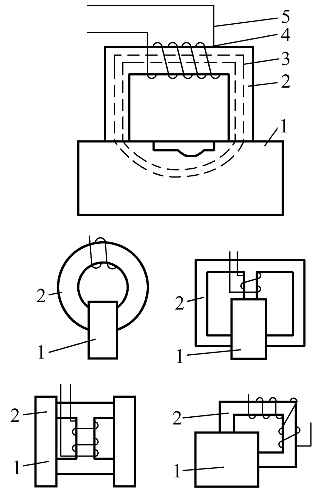
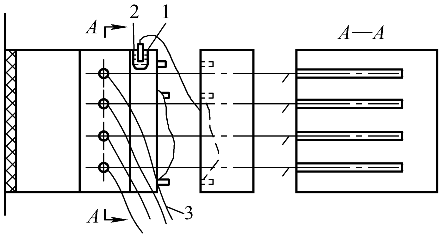
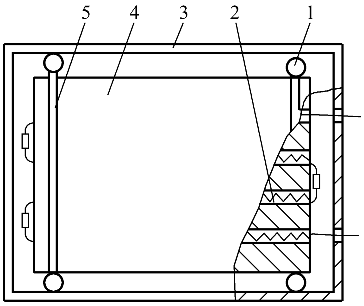
12.6.1　压铸模加热

1. 常用的加热方法（见表 12-77）

表 12-77　压铸模的加热方法

序号	加热方法	图　　示	特　　点
1	煤气加热	 a）煤气加热器　b）煤气、空气混合加热 L—根据压铸模大小而定　d_1—煤气孔直径为 2mm  压铸模煤气加热 1—定模　2—型芯　3—加热器	结构简单，制造方便，火力均匀，成本低廉，效果较好

（续）

序号	加热方法	图　　示	特　　点
2	电加热器加热	 感应加热器 1—压铸板　2—铁轭　3—磁通　4—隔热层　5—线圈  电阻加热器 1—液压缸　2—温度计　3—加热丝	加热洁净，使用方便，加热均匀，操作安全；耗电量大，成本高
3	远红外线加热	 远红外线加热器 1—支撑柱　2—电阻丝　3—纯铝罩　4—加热板　5—支撑杆	结构简单，升温快，比电阻丝式加热器节省电30%～50%，而且成本低

2. 预热

1）预热要均匀，必须将推杆退回到压铸模内。

2）固定型芯和活动型芯的预热尽量达到使用温度。

3）压室、压射冲头也要进行预热。

4）预热后应进行清理和润滑。

3. 压铸模预热温度的测量（见表 12-78）

表 12-78　预热温度的测量方法

序号	测量仪表	测 量 方 法	特　　点
1	表面温度计	表面温度计与压铸模直接接触，就可以得到读数	可测出分型面上各部位的温度。但反应慢
2	测温笔	利用各种盐类的熔点（或不同温度下颜色）不同的特性测定压铸模温度	测温笔使用方便，但得不到具体读数，只能测得一定的温度范围
3	热电偶	在压铸模上加工插入热电偶的孔（最好将热电偶的测点焊在孔的端面上），从二次仪表上读出压铸模的温度或测得温度变化曲线	要求加工孔的深度尽可能接近压铸模被测点的表面。越接近内腔表面测地越快越准确

12.6.2　金属液的供给

金属液的供给分为两部分，即从熔化炉供给保温炉；从保温炉供给压室。

金属液的输送方法如下：从熔化炉→保温炉的输送方法：采用中间包，或采用管道。此法适用于铅、锌合金等低熔点合金。

从保温炉→压室的输送方法：①热室压铸机、自动给料压铸机，采用自给式；②中、小型压铸机，采用手勺舀的方式；③中、大型压铸机，采用机械手；④电磁泵，适用于各种压铸机。

12.6.3　浇注

1. 压铸合金的浇注温度（见表 12-79）

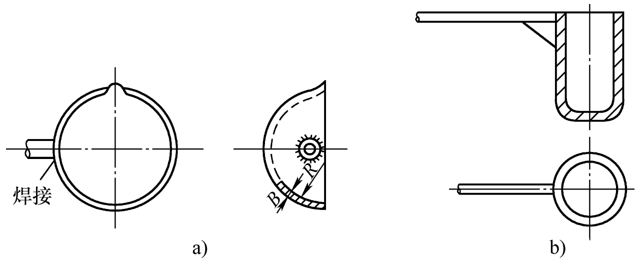
表 12-79　压铸合金的浇注温度　　（单位:℃）

合金 \ 铸件结构特征		铸件壁厚 <3mm		铸件壁厚 >3mm	
		结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金		420 ~ 440	430 ~ 450	410 ~ 430	420 ~ 440
铝合金	铝硅合金	610 ~ 650	640 ~ 700	590 ~ 630	610 ~ 650
	铝铜合金	620 ~ 650	640 ~ 720	600 ~ 640	620 ~ 650
	铝镁合金	640 ~ 680	660 ~ 700	620 ~ 660	640 ~ 680
镁合金		640 ~ 680	660 ~ 700	620 ~ 660	640 ~ 680
铜合金	普通黄铜	870 ~ 920	900 ~ 950	850 ~ 900	870 ~ 920
	硅黄铜	900 ~ 940	930 ~ 970	880 ~ 920	900 ~ 940

注：锌合金温度不宜超过 450℃，否则，结晶粗大变脆。

2. 浇注勺的规格（见表 12-80）

表 12-80　浇注勺的规格



a）小容量　b）大容量

序　号	规格/mm		容量/kg		
	R	*B*	铝合金	锌合金	铜合金
1	30	2	0. 1	0. 50	0. 50
2	40	3	0. 30	1. 00	1. 00
3	45	3	0. 50	1. 50	1. 50
4	50	3	0. 60	2. 00	2. 00
5	60	3	0. 70	3. 00	3. 50
6	70	4	1. 00	5. 00	6. 00
7	80	4	2. 00	6. 00	9. 00
8	90	4	3. 00	10. 00	12. 00
9	100	5	5. 00	12. 00	15. 00

3. 回转式自动浇注（见图 12-4）

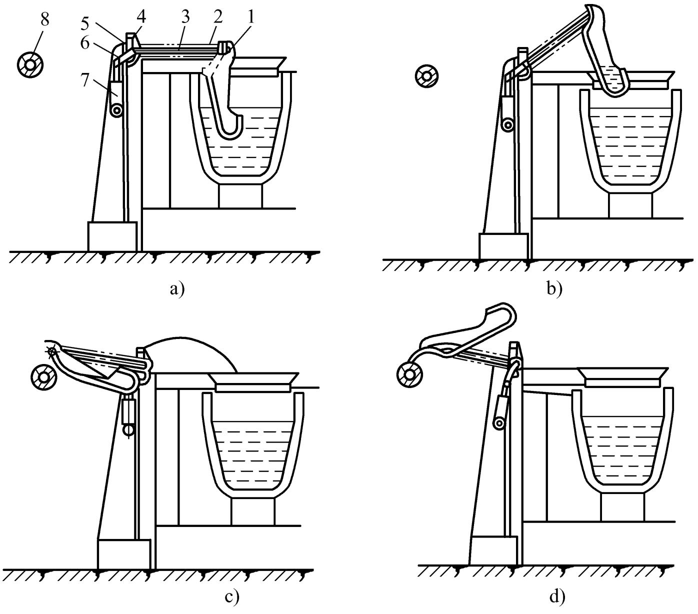


图 12-4　回转式自动浇注装置及应用

a）舀料　b）提升　c）待浇料　d）浇注

1、5—链轮　2—链条　3—摇臂　4—双向驱动液压缸　6—连杆　7—浇注液压缸　8—压室

4. 减压式自动浇注（见图 12-5）

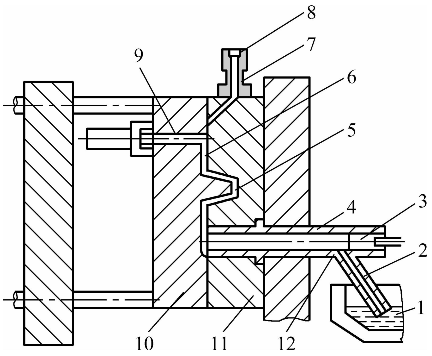


图 12-5　减压式自动浇注示意图

1—金属液　2—加热管　3—压射冲头　4—压室　5—型腔
6—真空通道　7—真空过滤器　8—真空泵　9—真空切断销
10—动模　11—定模　12—管道填料

12. 6. 4　取件和喷涂

1. 取件采用机械手自动取件（见图 12-6）

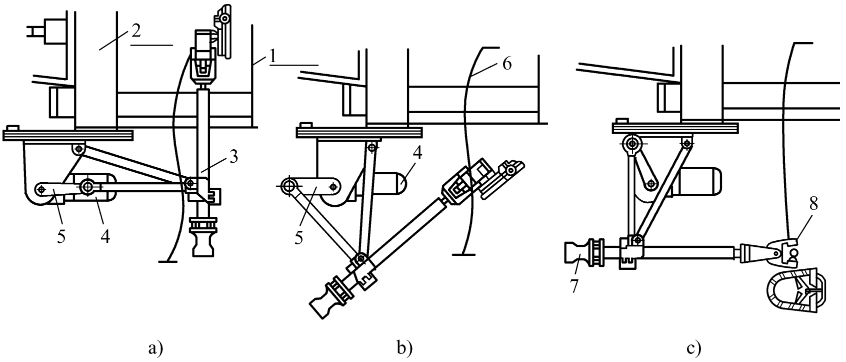


图 12-6　自动取件机械手

a）取件　b）机械手取件离开压铸机　c）终极位置

1—定模　2—动模　3—转臂　4—电动机　5—连杆　6—运动轨迹　7—回转电动机　8—夹钳

2. 自动喷涂

有两种方式，一种是固定式喷涂装置，该装置是针对小型压铸机简单的压铸件，固定在动模或定模上，动力源为压缩空气。另一种是移动式喷涂装置，使用灵活方便，是针对大、中型压铸机复杂的压铸件，动力源也是压缩空气。

12. 6. 5　压铸件清理

压铸件清理方法见表 12-81。

表 12-81 压铸件清理方法

序号	清理方法	说明
1	螺壳式振动清理机（见图12-7）	适用于大量生产
2	切边模压床或冲床	是利用和压铸件相似的模具，一次清除浇道、溢流槽、排气道、毛刺及飞翅。适用于大批量生产，效率高
3	锯床（带锯）、车床和铣床	用来切除中心浇口、内浇道等较厚的浇注系统。适用于成批或大批生产。生产效率高
4	砂轮、砂带	利用油或油水混合物润滑，主要打磨浇道和毛刺。应用广，效率高。但条件差
5	钻床	清理深腔、孔等部位的毛刺、飞翅；清理夹具和钻头要同轴，转速应适宜。转速一般为1130～1890r/min
6	清理滚筒或抛光滚筒	滚筒内衬有橡胶或硬木板，清理毛刺时，用各种形状的钢磨料，转速为20～30r/min。清理表面时，可用皮块、木屑等各种磨料，湿磨或干磨，转速为10～15r/min。适用于大批量生产。对铸件形状无限制。生产效率高
7	手工	对小型铸件或浇道较薄的铸件，利用简单工具，手工去除。适用于小批量生产。劳动强度大

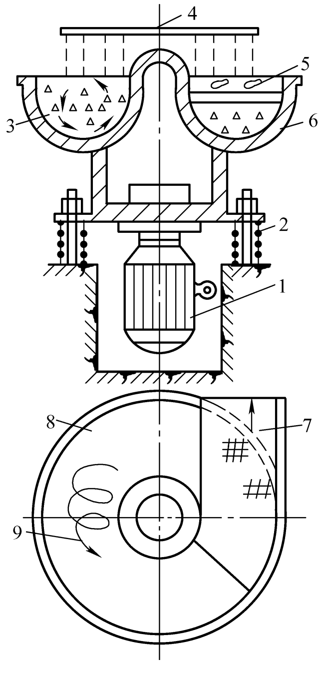


图12-7 螺壳式振动清理机

1—电动机 2—弹簧 3—橡皮衬 4—喷水嘴
5—栅格 6—螺壳 7—铸件出口 8—加铸件处
9—铸件和磨料运动方向

12.6.6　压铸件后处理

1. 压铸件时效和负温时效

在负温条件下工作的压铸件，为稳定尺寸，需要进行时效和负温时效处理。时效和负温时效处理工艺规范见表12-82。

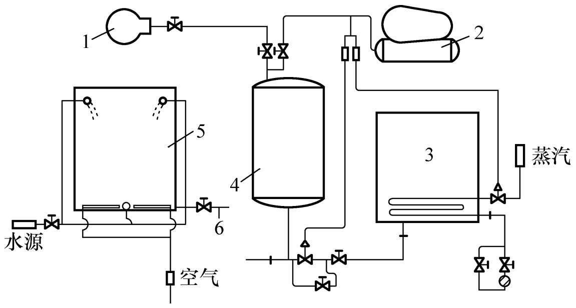
表12-82　压铸件时效和负温时效规范

合金	热处理形式	加热温度/℃	保温时间/h	干燥		冷却方法
				温度/℃	时间/h	
锌合金	时效	95±5	2.5~3.0	—	—	空冷
铝合金	时效	175±5	2.5~3.0	—	—	空冷
镁合金	时效	150~190	3.0~5.0	—	—	随炉冷
铜合金	退火	250~300	1.5~2.5	—	—	空冷
各种合金	负温时效	-50~-60	2（<2kg）、3（>3kg）	50~60	2.0~3.0	空冷

2. 压铸件浸渗处理

压铸件内部缺陷如气孔、针孔，可用压入浸渗剂使其具有耐压性（气密性、防漏水等），这种方法称为浸渗处理。压铸件常用真空加压法浸渗处理工艺见表12-83。

表12-83　压铸件常用真空加压浸渗处理工艺

真空加压浸渗装置	 1—真空泵　2—空气压缩机　3—浸渗剂储存槽　4—浸渗罐　5—清洗罐　6—排水口
处理工艺	先把洗净的压铸件进行烘干，然后装入浸渗罐中。用真空泵抽真空，使罐内具有80kPa或更高一些真空度，然后把经过预热到50~70℃的密封剂液体吸入浸渗罐里，待吸入的浸渗剂完全覆盖压铸件之后关闭阀门，并加0.1~1.0MPa气压，保持10~15min后，除去密封剂，取出铸件洗净，经过8~24h干燥后，即完成浸渗工作

12.7　压铸件质量检验

12.7.1　压铸件质量检查项目

压铸件按使用要求分两大类，其质量检查项目见表 12-84。

表 12-84　压铸件质量检查项目

压铸件类别	使用要求	质量检查项目
Ⅰ	1）承受较大负荷的零件 2）有较高相对运动速度的零件	1）尺寸 2）表面质量 3）化学成分 4）力学性能（σ_b、σ_s、HBW）
Ⅱ	其他零件	1）尺寸 2）表面质量 3）化学成分

12.7.2　压铸件表面质量级别及其表面粗糙度

压铸件表面质量，按使用范围分为 3 级，其表面粗糙度见表 12-85。

表 12-85　压铸件表面质量级别及其表面粗糙度

表面质量级别	使用范围	表面粗糙度 Ra/μm
1	1）涂覆工艺要求高的表面 2）镀铬、抛光、研磨的表面 3）相对运动的配合面 4）危险应力区的表面	3.2
2	1）涂覆要求一般或要求密封的表面 2）镀锌阳极氧化、油漆不打腻表面 3）装配接触表面	6.3
3	1）保护性涂覆表面 2）紧固接触面 3）油漆打腻表面 4）其他表面	12.5

12.7.3　压铸件力学性能测定

1. 试样的取样方法

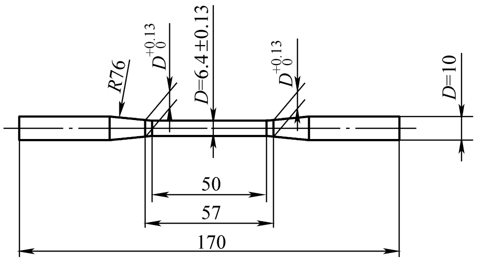
1）单独压铸拉力试样。

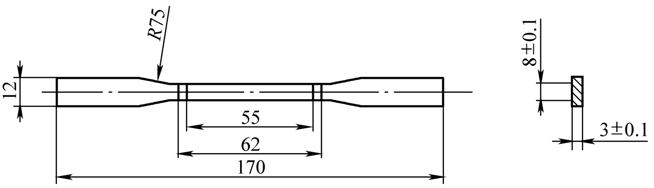
2）自压铸件上切取试样。

2. 压铸试样标准及压铸试样工艺

1）单独压铸拉力试样见表 12-86。

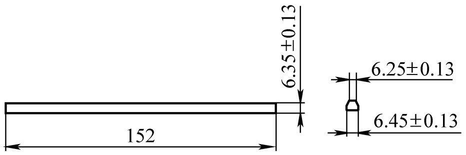
表 12-86　单独压铸拉力试样

取样方法	单独压铸拉力试样 A　　型
图　　示	
应　　用	用于抗拉强度与伸长率

取样方法	单独压铸拉力试样 B　　型
图　　示	
应　　用	用于抗拉强度比较试验和硬度测定

2）冲击韧度试样见表 12-87。

表 12-87　冲击韧度试样

取样方法	压 铸 试 样
图　　示	
应　　用	用于冲击韧度的测定

12.7.4 压铸件缺陷、原因分析及解决方案

1. 表面类缺陷的特征、原因分析及解决方案（见表12-88）

表12-88 压铸件表面类缺陷的特征、原因分析及解决方案

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
1	流痕	外观检查： 铸件表面上有与金属液流动方向一致的条文，有明显可见的与金属基体不一样，无方向的纹路，无发展趋势	1）首先进入型腔的金属液形成一个极薄而又不完全的金属层后，被随后而来的金属液所弥补而产生的接痕 2）模温过低 3）内浇道截面积过小及位置不当而产生喷溅 4）作用与金属液上的压力不足	1）提高模温 2）调整内浇道截面积及位置 3）调整内浇道速度及压力
2	花纹		涂料用量过多	适当地选用涂料及调整用量
3	网状毛翅	外观检查： 压铸件表面上有网状发丝一样凸起或凹陷的痕迹，随压铸次数增加而不断扩大和延伸	1）模具型腔表面产生龟裂 2）模具材料不当或热处理工艺不正确 3）模具温度冷热变化太大 4）浇注温度过高 5）模具预热不足 6）型腔表面粗糙 7）模具镶块强度低或有尖角	1）正确选用模具材料及热处理工艺 2）浇注温度不宜过高，尤其是高熔点合金 3）模具预热要充分 4）模具要定期或生产一定次数后进行退火处理。打磨成型部位的表面
4	冷隔	外观检查： 压铸件表面有明显的、不规则的、下陷的线形纹路（有穿透与不穿透两种），形状细小而狭长，有的交接边缘光滑，有断开的可能	1）两股金属流相互对撞，但未完全熔合而又无夹杂存在其间，两股金属的结合力很薄弱 2）浇注温度或模具温度偏低 3）选择合金不当，流动性差 4）浇道位置不对或流路过长 5）填充速度低 6）压射比压低	1）适当提高浇注温度 2）提高压射比压，缩短填充时间 3）提高压射速度的同时加大内浇道截面积 4）改善排气条件 5）正确选用合金，提高合金的流动性

（续）

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
5	缩陷（凹陷）	外观检查： 在铸件厚大部分的表面上有平滑的凹陷（状如盘碟）	1. 由收缩引起 1）压铸件结构设计不当，壁厚差太大 2）合金收缩大 3）浇道位置不当 4）压射比压低 5）模具局部温度过高 2. 由于模具损坏引起 1）模具损伤 2）模具龟裂 3. 由憋气引起 填充型腔时，局部气体未排出，被压缩在型腔表面与金属液界面之间	1）壁厚应均匀 2）厚薄过渡要缓和 3）选用收缩性小的合金 4）正确选择合金液导入位置及增加内浇道截面积 5）增加压射压力 6）适当降低浇注温度及模具的温度 7）对局部高温处要进行冷却 8）检修模具消除凸起部分 9）改善排溢条件 10）减少涂料用量
6	印痕	外观检查： 1）铸件表面与模具型腔表面接触所留下的痕迹 2）铸件表面上出现阶梯痕迹	1. 由顶出元件引起 1）顶杆端面被磨损 2）顶杆调整不齐 3）模具型腔拼接部分和其他活动部分配合不好 2. 由拼接活动部分引起 1）镶拼部分松动 2）活动部分松动或磨损 3）铸件的侧壁表面，由动、定模互相穿插的镶件所形成	1）工作前要检查、修好模具 2）顶杆长短要调整到适当位置 3）紧固镶块和其他活动部分 4）设计时消除尖角，配合间隙应调整合适 5）改善铸件结构使模具消除穿插的镶嵌形式，改进模具结构
7	铁豆（冷豆）	外观检查： 铸件表面嵌有冷豆，未与铸件完全融合的金属颗粒（通常在欠铸处）	1）浇注系统设置不当 2）填充速度快 3）金属液过早地流入型腔	1）改进浇道系统避免金属液直冲型芯、型壁 2）增大内浇道截面积 3）改进操作，调整机器
8	粘附物痕迹	外观检查： 小片状的金属或非金属物与金属的基体部分熔接，在外力的作用下小片状物剥落后，铸件表面有的发亮，有的为暗灰色	1）在模具型腔表面上有金属或非金属残留物 2）浇注时带进杂质附着在型腔表面上	1）在压铸前要对型腔、压室及浇注系统清理干净，去除型腔表面的粘附物 2）对浇注的合金液要清理干净 3）选择合适的涂料，喷涂要均匀

（续）

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
9	分层（夹皮及剥落）	外观检查或破坏检查： 铸件局部有明显的金属分层	1）模具刚性不够，在金属液填充过程中，模板产生抖动 2）压射冲头与压室配合不好，在压射中冲头前进时速度不平稳 3）浇道系统设计不当	1）加强模具刚性，紧固模具部件，使之稳定 2）调整压射冲头与压室的配合间隙 3）合理设计浇道系统
10	摩擦烧蚀	外观检查： 铸件在某些部位上产生粗糙	1）由模具产生的：内浇道的位置方向设计不当 2）由铸造条件引起的：内浇道处金属液冲刷剧烈部位的冷却不够	1）改善内浇道的位置和方向的不当之处 2）改善冷却条件，特别是改善金属液冲刷剧烈的部位 3）对烧蚀部位增加涂料 4）调整合金液的流速，使其不产生气穴 5）清除模具上的合金粘附物
11	冲蚀	外观检查： 压铸件局部位置有麻点或凸纹	1）浇道位置设置不当 2）冷却条件不好	1）内浇道的厚度要恰当 2）修改内浇道的位置和方向 3）对被冲蚀部位要加强冷却

2. 表面损伤类缺陷的特征、原因分析及解决方案（见表12-89）

表12-89 表面损伤类缺陷的特征、原因分析及解决方案

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
1	机械拉伤	外观检查： 铸件表面顺着出模方向留有擦伤的痕迹	1）模具设计和制造不正确，如型芯的成型部分无斜度或负斜度 2）型芯或型壁上压伤影响出模 3）铸件顶出时有偏斜	1）拉伤部位固定时检查模具，修正斜度、打光压痕 2）拉伤面无固定位置时，要注意增加涂料 3）检查合金成分，如铝合金中含 w（Fe）≥0.6% 4）调整顶杆，使顶出力平衡

（续）

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
2	粘模拉伤	外观检查： 压铸合金与型壁粘连而产生拉伤痕迹，在严重的情况下会被撕破	1）合金液浇注温度过高 2）模具温度太高 3）涂料使用不足或不正确 4）模具成型表面粗糙 5）浇道系统不正确使金属液直接冲击型芯或型壁 6）模具材料使用不当或热处理工艺不正确，硬度不足 7）铝合金含铁量太少[w(Fe)<0.6%] 8）填充速度太快	1）降低浇注温度 2）模具温度控制在工艺范围 3）消除型腔粗糙的表面 4）检查涂料品种或用量是否适当 5）调整内浇道防止金属液直冲 6）校对合金成分，使铝合金的含铁量符合要求 7）检查模具材料、热处理工艺及硬度是否合理 8）适当降低填充速度
3	碰伤	外观检查： 铸件表面有擦伤、碰伤	1）使用和搬运不当 2）运转和装卸不当	1）注意成品的使用、搬运和包装 2）从压铸机上取件时要小心

3. 内部缺陷类的特征、原因分析及解决方案（见表12-90）

表12-90　内部缺陷类的特征、原因分析及解决方案

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
1	气孔	解剖后外观检查或探伤检查： 气孔具有光滑的表面，形状呈圆形或椭圆形	1）合金液导入方向不合理或金属液流动速度太快，产生喷射；过早堵住排气道或正面冲击型壁而形成游涡包住空气，这种气孔多产生于排气不良或深腔处 2）由于金属液不洁净或温度过高，使金属液含气量增加，而在凝固时析出 3）涂料发气量大在浇注前未烧净，使气体卷入铸件 这种气孔多呈暗灰色表面	1）使用干燥而洁净的炉料 2）不使合金液过热并很好除气 3）改善浇道的导流方向 4）降低压射速度 5）在保证填充良好的情况下，尽可能加大内浇道的截面积 6）排气槽设置要合理并有足够的排气能力

（续）

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
2	气泡	解剖后外观检查或探伤检查： 接近铸件表面有气体集聚，有时看到铸件表面鼓泡	1. 由卷入的气体引起 1）型腔中的气体未排出 2）涂料产生的气体卷入铸件	1）改善溢流槽和排气道的位置和大小 2）改善填充时间 3）提高压射压力 4）在气孔处设置型芯 5）尽量少用涂料
			2. 由合金中气体引起 合金内吸有较多的气体，凝固时析出留在铸件内	1）清除合金液中的气体和氧化物 2）炉料要管理好，避免被尘土和油类污染
3	缩孔缩松	解剖后外观检查或探伤检查： 缩孔表面呈暗色，并不光滑，形状不规则的孔洞。大而集中的为缩孔，小而分散的为缩松	缩孔是铸件在冷却过程中内部补偿不足而造成的孔穴 1）浇注温度过高 2）压射比压低 3）铸件在结构上壁厚变化大 4）内浇道较小	1）改善铸件结构，使铸件壁厚均匀 2）在可能的条件下降低浇注温度 3）提高压射比压 4）适当改善浇注系统，使压力更好的传递

4. 裂纹缺陷类的特征、原因分析及解决方案（见表12-91）

表12-91　裂纹缺陷类的特征、原因分析及解决方案

缺陷名称	裂纹
特征及检验方法	外观检查：将铸件放在碱性溶液中，裂纹处呈暗灰色。金属基体的破坏与裂开呈直线或波浪线形，纹路狭小而长、在外力作用时有发展趋势
原 因 分 析	**解 决 方 案**
在铸件上由于应力或外力而产生的裂纹 1. 锌合金铸件的裂纹 1）锌合金中含有有害杂质铅、锡、铁和镉的量超过了规定范围 2）铸件从模具中取出过迟 3）型芯的抽出或顶出受力不均 4）铸件壁厚的厚薄相连处变化太大 5）熔炼温度过高	1）合金材料的配比，杂质含量不能超过起点要求 2）调整好开模时间 3）要使铸件受顶出力均匀 改变壁厚不均匀性
2. 铝合金铸件的裂纹 1）合金中铁含量过高或硅含量过低 2）合金中有害杂质的含量过高，降低了合金的可塑性 3）铝硅合金：铝硅铜合金含锌或含铜量过高；铝镁合金中含镁量过多 4）模具，特别是型芯温度太低 5）铸件壁厚变化剧烈 6）留模时间过长 7）顶出时受力不均	1）正确控制合金成分，在某些情况下，可在合金中加纯铝锭以降低合金中含镁量；或在合金中加铝硅中间合金以提高硅的含量 2）提高模具温度 3）改善铸件结构 4）调整抽芯机构，或使顶杆受力均匀

（续）

原因分析	解决方案
3. 镁合金铸件的裂纹 1）合金中铝硅含量过高 2）模具温度低 3）铸件壁厚变化剧烈 4）顶出或抽芯受力不均匀	1）合金中加纯镁以降低铝硅的含量 2）模具温度要控制在要求的范围之内 3）改善铸件结构消除厚薄变化较大的截面 4）调整好推杆的位置，使之受力均衡
4. 铜合金铸件的裂纹 1）黄铜中锌的含量过高（冷裂）或过低（热裂） 2）硅黄铜中的硅含量高 3）开模时间晚，特别是型芯多的铸件	1）保证合金的化学成分。合金元素取其下限；硅黄铜在配制时，硅和锌的含量不能同时取上限 2）提高模具温度 3）适当调整开模时间

5. 几何形状与图样不符类的特征、原因分析及解决方案（见表12-92）

表12-92　几何形状与图样不符类的特征、原因分析及解决方案

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
1	欠铸机轮廓不清晰	外观检查： 金属液未充满型腔，铸件表面有不规则的孔洞，凹陷和棱角不齐，表面形状呈自然液流或与液面相似	1）内浇道宽度不够或模具排气条件不良 2）合金流动性差 3）浇注温度低或模具温度低，压射速度低 4）压射比压不足 5）模具型腔边角尺寸不合理，不易填充	1）改进内浇道，改善排气条件 2）适当提高模具温度和合金液的浇注温度 3）提高压射比压和压射速度 4）模具型腔尺寸制造要准确
2	变形	外观检查或测量： 铸件翘（弯）曲、超出图样尺寸公差要求	1）铸件结构不合理，各部分收缩不均匀 2）留模时间太短 3）顶出过程铸件偏斜 4）铸件刚度不够 5）铸件放置不合理或去除浇道方法不当	1）改进铸件结构，使壁厚均匀 2）铸件不要堆叠存放，特别是大而壁薄的铸件 3）时效或退火时不要堆叠入炉 4）必要时可进行整形
3	飞翅	外观检查： 铸件分型面处或活动部分突出过多的金属薄片	1）压射前机器的调整不当 2）模具的滑块损坏或锁紧零件失效 3）镶块与滑块磨损或配合间隙不当 4）模具刚度不够造成变形 5）分型面未清理干净 6）胀型力大于锁模力	1）检查合模力及增压情况 2）调整增压机构使压射增压峰值降低 3）检查模具的变形程度和锁紧零件 4）检查模具是否损坏 5）将分型面清理干净
4	多肉或带肉	外观检查： 铸件上存在形状不规则的凸出部分（重复出现）	1）模具热处理不当而损伤 2）模具产生龟裂而掉块 3）有滑块的模具在分型面处因清理不干净而合模时压坏 4）成型表面机械损伤	1）按工艺规程进行热处理 2）严格执行操作规程 3）参看“龟裂”解决方案

（续）

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
5	错型或错扣	外观检查： 压铸件的错型（螺纹称错扣）	1）模具镶件移位 2）模具导向零件移位 3）模具型腔制造误差	1）调整镶件的位置 2）更换导向零件 3）修整消除误差
6	型芯偏位	外观检查： 铸件由型芯形成的部位与所需的位置不符	1）模具型腔尺寸不正确或磨损 2）型芯位置与尺寸不合格 3）型芯发生变形	1）检查型腔是否超差 2）检查型腔是否磨损 3）型芯定位是否超差

6. 材料性能与要求不符的特征、原因分析及解决方案（见表 12-93）

表 12-93　材料性能与要求不符

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
1	化学成分不符合要求	化学分析： 铸件合金元素不符合要求或杂质过多	1）配料不准确 2）原材料及回炉料未加分析即投入使用	1）炉料经化验分析后才能配用 2）炉料要严格管理，新旧料要按一定比例使用 3）严格控制熔炼工艺 4）熔炼工具要喷刷涂料
2	力学性能不符合要求	进行专门的力学性能检验： 铸件合金的机械强度、断后伸长率低于要求的标准	1）化学成分有错误 2）铸件内部有气孔、缩孔、渣孔等 3）对试样处理方法有错误（如切取、制备） 4）铸件结构不合理	1）配料、熔化要严格控制成分及杂质含量 2）严格遵守熔炼工艺 3）在生产中要定期进行工艺性实验 4）严格控制合金温度 5）尽量消除形成氧化物的各种因素

7. 杂质缺陷（见表 12-94）

表 12-94　杂 质 缺 陷

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
1	夹渣（渣孔）	外观检查或探伤及金相检查： 铸件上有不规则的或明或暗的孔，孔内常被熔渣充塞 在金相检查时，在低倍显微镜下呈暗黑色或高倍下亮而无色	金属中有夹渣或型腔中有非金属残留物，在压射前未被清除而产生 （1）混入的熔渣 1）金属液表面上的熔渣未清除 2）将熔渣和金属液同时浇注到压室内	1）仔细去除金属表面的熔渣 2）遵守金属液的舀取工艺
			（2）石墨混入物 1）用石墨坩埚时边沿有脱落 2）涂料中石墨太多	1）在石墨坩埚边沿装上铁环 2）使用涂料要均匀，用量要适当

（续）

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
2	硬点	机械加工过程中或加工后外观检查或金相检查： 铸件上有硬度高于金属基体的小质点或块状物使刀具磨损严重，加工后常常显示出不同的亮度	（1）混入了合金液表面的氧化物	1）铸造时不要把合金液表面的氧化物舀入勺内 2）清除铁坩埚表面的氧化物后，再上涂料 3）清除勺子等工具上的氧化物 4）使用与铝不发生化学反应的涂料
			（2）混入了合金液与耐火材料发生反应的混合物 （3）混入了合金液与涂料反应的生成物	1）要使用不与铝合金发生反应的耐火材料和灰浆，例如氧化物铝质材料 2）定期更换炉衬材料
			（4）产生了复合化合物如由Al、Mn、Fe、Si组成的化合物	1）在铝合金中含有Mn、Fe、Si等元素时应防止发生偏析 2）用干燥的除气剂除气，但铝合金中的含镁量要注意补偿
			（5）游离硅混入物 1）铝硅合金含Si高 2）铝合金在半液态浇注 3）硅游离存在，或者铝硅合金中Si的质量分数高于11.6%，且Cu、Fe含量也高	1）铝合金含Cu、Fe多时，应使含Si的质量分数降到10.5%以下 2）适当提高浇注温度，以避免Si析出
			（6）其他夹杂物 1）金属料不纯，含有其他异物 2）金属料粘附油污 3）工具未清理干净	1）加强管理，严防回炉料混入异物或异种材料 2）回炉料不要粘上油、砂、尘土等物 3）清理净增埸、熔炼工具上面的铁锈及氧化物
			（7）混入了未溶解的硅元素原料	1）熔炼铝硅合金时，不要使用硅元素粉末 2）调整合金成分时，不要直接加入硅元素，必须采用中间合金 3）熔炼温度要高，时间要长，使硅充分溶解

（续）

序号	缺陷名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
2	硬点	机械加工过程中或加工后外观检查或金相检查： 铸件上有硬度高于金属基体的小质点或块状物使刀具磨损严重，加工后常常显示出不同的亮度	（8）混合了促进初生硅结晶生长的原料	1）缩小铸造温度波动范围，使之经常保持熔融状态 2）加冷料时要防止合金锭块使合金液凝固 3）尽量减少促进初晶硅易于生长的成分
			（9）混入了生产金属间化合物结晶物质	1）减少温度波动范围，不使合金液的温度过高或过低 2）控制合金成分的杂质含量 3）对能产生金属间化合物的材料要在高温下熔炼，为防止杂质增加，应一点一点地少量加入
			（10）由于急冷组织致密化，使容易偏析的成分析出成为硬点	1）合金液加入压室后，应立即压射填充 2）尽可能不含有Ca、Mg、Na等易引起急冷效应的合金成分。Ca的质量分数应控制在0.05%以下

8. 其他缺陷类（见表12-95）

表12-95　其他缺陷类

序号	名称	特征及检验方法	原因分析	解决方案
1	脆性	外观检查或金相检查： 合金晶粒粗大或极小，使铸件易断裂或碰碎	1）合金过热太大或保温时间过长 2）激烈过冷，结晶过细 3）铝合金含有锌铁等杂质太多 4）铝合金中含铜超出规定范围	1）合金不宜过热时间太长 2）提高模具温度，降低浇注温度 3）严格控制合金成分在允许的范围内
2	渗漏	试压（气密性）试验： 漏水或渗水	1）压力不足 2）浇注系统设计不合理或铸件结构不合理 3）合金选择不当 4）排气不良	1）提高压射比压 2）尽量避免后加工 3）改进浇注系统和排气系统 4）选用良好的合金

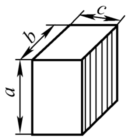
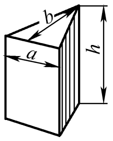
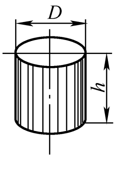
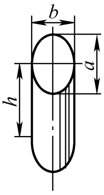
第 13 章　铸造相关计算

13.1　体积与面积

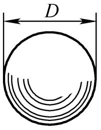
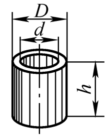
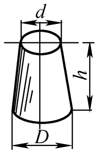
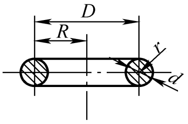
13.1.1　常见几何体体积近似计算公式

常见几何体体积近似计算公式见表 13-1。

表 13-1　常见几何体体积近似计算公式

序　　号	名　　称	图　　形	体积近似计算公式
1	长方体		$V = abc$
2	三棱柱体		$V = 0.5abh$
3	圆柱体		$V = 0.8D^2h$
4	椭圆柱体		$V = 0.8abh$

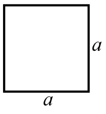
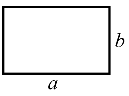
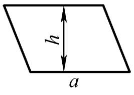
（续）

序　　号	名　　称	图　　形	体积近似计算公式
5	球体		$V=0.52D^3$
6	中空圆柱体		$V=0.8(D^2-d^2)h$
7	圆台体		$V=0.26(D^2+d^2+Dd)h$
8	圆环体		$V=\pi D\dfrac{\pi d^2}{4}=2\pi^2Rr^2=19.739Rr^2$

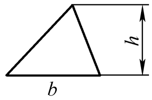
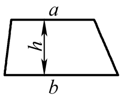
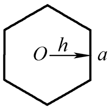
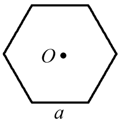
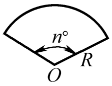
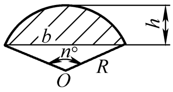
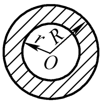
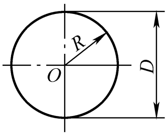
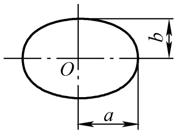
13.1.2　常用几何图形面积计算公式

常用几何图形面积计算公式见表 13-2。

表 13-2　常用几何图形面积

序号	名称	几何图形	面积 A
1	正方形		$A=a^2$
2	矩形		$A=ab$
3	平行四边形		$A=ah$

（续）

序号	名称	几何图形	面积 A
4	三角形		$A=\frac{1}{2}bh$
5	梯形		$A=\frac{a+b}{2}h$
6	正六边形		$A=\frac{nah}{2}$
7			$A=\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2=2.598a^2$
8	扇形		$A=\frac{n^\circ}{360^\circ}\pi R^2$
9	弓形		$A=\frac{n^\circ}{360^\circ}\pi R^2-\frac{b(R-h)}{2}$ 经验公式： $A=\frac{2}{3}bh+\frac{h^2}{2b}$
10	环形		$A=\pi(R^2-r^2)$
11	圆形		$A=\pi R^2=\frac{\pi}{4}D^2$
12	椭圆形		$A=\pi ab$

13.2　密度

13.2.1　常用铸造合金的密度

常用铸造合金的密度见表 13-3。

表 13-3　常用铸造合金的密度　（单位：kg/dm^3）

<table>
<tr><th>序号</th><th colspan="2">铸造合金</th><th>密度</th><th>序号</th><th colspan="2">铸造合金</th><th>密度</th><th>序号</th><th colspan="2">铸造合金</th><th>密度</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="2">铸钢</td><td>碳钢</td><td>7.8</td><td>8</td><td rowspan="7">非铁合金</td><td>铝铜合金</td><td>2.9</td><td>15</td><td rowspan="5">非铁合金</td><td>铅青铜</td><td>9.3</td></tr>
<tr><td>2</td><td>合金钢</td><td>8.0</td><td>9</td><td>铝锌合金</td><td>2.8</td><td>16</td><td>锡青铜</td><td>8.8</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="5">铸铁</td><td>灰铸铁</td><td>7.2</td><td>10</td><td>铝硅合金</td><td>2.6</td><td>17</td><td>铝青铜</td><td>7.5</td></tr>
<tr><td>4</td><td>白口铁</td><td>7.4</td><td>11</td><td>铝镁合金</td><td>2.7</td><td>18</td><td>锰青铜</td><td>7.9</td></tr>
<tr><td>5</td><td>可锻铸铁</td><td>7.3</td><td>12</td><td>镁合金</td><td>1.9</td><td>19</td><td>硅青铜</td><td>8.3</td></tr>
<tr><td>6</td><td>球墨铸铁</td><td>7.2</td><td>13</td><td>锌合金</td><td>6.8</td><td>—</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>蠕墨铸铁</td><td>7.1</td><td>14</td><td>黄铜</td><td>8.7</td><td>—</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

13.2.2　木模常用材料的密度

红松、杉木、柏木、水曲柳是制造木模样的常用材料，其密度见表 13-4。

表 13-4　木模样常用材料密度

木模样材料	红松	杉木	柏木	水曲柳
密度/（kg/dm^3）	0.44	0.38	0.59	0.69

13.2.3　密度计算案例

有一金属零件，重量为 35kg，体积为 $5\times10^{-3}m^3$。该金属的密度是多少？

解： 已知零件重量 $m=35kg$，零件的体积 $V=5\times10^{-3}m^3$

代入公式得
$$\rho=\frac{m}{V}=\frac{35}{5\times10^{-3}}kg/m^3=7\times10^3kg/m^3$$

答：金属的密度是 $7\times10^3kg/m^3$。

13.3　重量计算

13.3.1　根据铸造工艺图计算铸件重量

1. 确定计算长度和铸件密度值

铸造工艺图图样上的长度单位是毫米（mm），在计算重量时，对于小型铸件可采用厘米（cm）作计算单位，对于大、中型铸件宜采用分米（dm）作计算单位。常

用铸造合金的密度值见表 13-3。

2. 形体分析，计算铸件体积

实际生产中，铸件形状较为复杂，当不能用表 13-1 中的公式直接计算时，可用下述简单方法：

1）将复杂铸件分解成若干简单形体，分别计算出分解后各形体的体积，再求整个铸件的体积。

2）有的件可转化为易计算的形体计算。

3）相对于铸件体积很小的圆角、凸台、小孔等，可忽略不计。

计算的铸件总体积 V 精确到两位小数。

3. 铸件重量等于密度乘以体积

$$G=\rho V \tag{13-1}$$

式中　G——铸件重量（kg）；

ρ——铸件的金属密度（kg/dm^3）；

V——铸件体积（dm^3）。

铸造生产中，由于金属液作用，型腔胀大、起模前松模、模样受潮变形等原因，即使同一批浇注出的铸件，其重量也不尽完全一样，因此，铸件重量可近似计算，计算结果一般只需要精确到 2 ~ 3 位有效数字。

4. 铸件重量计算案例

铸钢件、铸铁件、非铁合金铸件的重量计算方法是一样的，都是“密度 × 体积”，只是密度不同。例如：有一齿轮坯，如图 13-1 所示，计算材质为铸钢、铸铁、黄铜时的齿轮铸坯重量。

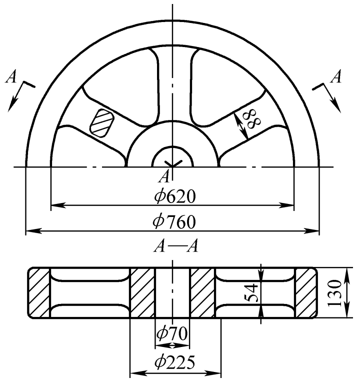


图 13-1　铸钢齿轮坯

解： 齿轮坯可分解为两个中空圆柱体和六个长方体（近似）。各部分体积分别为 V_1、V_2、V_3，则

$$V_1=0.8(D^2-d^2)h=0.8\times[(7.6dm)^2-(6.2dm)^2]\times1.3dm=20.09dm^3$$

$$V_2=0.8(D^2-d^2)h=0.8\times[(2.25dm)^2-(0.7dm)^2]\times1.3dm=4.75dm^3$$

$$V_3=abcn=0.88dm\times0.54dm\times1.97dm\times6=5.6dm^3$$

齿轮坯体积：$V=V_1+V_2+V_3=30.44dm^3$

铸钢密度取 $7.8kg/dm^3$，则铸钢齿轮坯重量为 $G=7.8kg/dm^3\times30.44dm^3=237.4kg$（取 238kg）

铸铁密度取 $7.1kg/dm^3$，则铸铁齿轮坯重量为 $G=7.1\times30.44kg\approx216kg$

黄铜的密度为 $8.7kg/dm^3$，则黄铜齿轮坯重量为 $G=8.7\times30.44kg\approx265kg$

13.3.2　根据实体模样重量计算铸件重量

1. 计算公式

对于用实体模样且无砂芯造型的铸件，可以根据模样重量计算铸件重量。当铸件材质和模样材质一定时，铸件重量和模样重量比值也就一定，应用这个比值 K，就可很方便地计算出铸件重量。K 称计算因数（或密度比、重量比）。

$$K=\frac{\text{铸件重量}}{\text{模样重量}}=\frac{\text{铸件材质的密度}}{\text{模样材质的密度}} \tag{13-2}$$

$$\text{铸件重量}=K\times\text{模样重量} \tag{13-3}$$

几种常用的模样材质和铸件材质的计算因数见表 13-5。

表 13-5　几种常用的模样材质和铸件材质的计算因数 K

序号	模样		铸件材质及密度/（kg/dm³）						
	材料	密度/（kg/dm³）	铸钢 7.84	铸铁 7.20	可锻铸铁 7.35	铝合金 2.81	黄铜 8.53	锡青铜 8.69	镁合金 1.80
			计算因数 K						
1	松木	0.61	12.85	11.80	12.05	4.61	13.98	14.25	2.95
2	红松	0.59	132.29	12.20	12.46	4.76	14.46	14.73	3.05
3	杉木	0.32	24.50	22.50	22.97	8.78	26.66	27.16	5.63
4	合成树脂	1.50	5.23	4.80	4.9	1.87	5.69	5.79	1.20
5	铝合金	2.81	2.79	2.56	2.62	1.00	3.04	3.09	0.64
6	黄铜	8.53	0.92	0.84	0.86	0.33	1.00	1.02	0.21
7	锡青铜	8.69	0.90	0.83	0.85	0.32	0.98	1.00	0.21
8	灰铸铁	7.20	1.09	1.00	1.02	0.39	1.18	1.21	0.25
9	钢	7.84	1.00	0.92	0.94	0.36	1.09	1.11	0.23

2. 计算案例

例 1　有一件红松制作的模样，模样重量为 2kg，无型芯造型，浇出铸铁件重量为 32kg。另一件红松制作的模样，模样重量为 3kg，计算浇出的铸铁件重量是多少？

解：铸件重量与模样重量之比为 K，则

$$K=\frac{32}{2}=16$$

浇出铸铁件重量为 G，则　$G=16\times3\text{kg}=48\text{kg}$

例 2　有一铸铁件为实体模样，无型芯造型，称得红松模样的重量为 5.5kg，计算浇出的铸件重量是多少？

解：查表 13-5，得计算因数 $K=12.20$，

$$\text{铸件重量 } G=12.20\times5.5\text{kg}=67.1\text{kg}$$

即铸铁件重量为 67.1kg。

例 3　有一铝合金实体模样，重量为 2kg，问浇出的铸钢件、黄铜铸件重量各是多少?

解：查表 13-5 得，铸钢件重量计算因数 $K = 2.79$，黄铜铸件的重量计算因数 $K = 3.04$。

则

$$G_{铸钢} = 2kg \times 2.79 = 5.58kg$$

$$G_{黄铜} = 2kg \times 3.04 = 6.08kg$$

即铸钢件重量为 5.58kg，黄铜铸件重量为 6.08kg。

13.3.3　浇满一个铸型所需的金属液重量

铸型金属液需要量的组成：①铸件重量（ 即铸件单件重量乘以每型中铸件件数)；②浇冒口重量；③浇注时损失的金属液重量；④对大型铸件使用内冷铁重量较大时，应减去内冷铁重量。

计算案例：铸钢缸套，外径为 120mm，内径为 80mm，高度为 200mm，每型 4 件，浇冒口重量为铸件重量的 45%，铸钢密度取 $7.8kg/dm^3$，求每铸型需要金属液重量是多少?

解：铸件单件重量为 G，则

$$G = 0.8 \times (1.2^2 - 0.8^2) \times 2dm^3 \times 7.8kg/dm^3 = 9.98kg \approx 10kg$$

每型 4 件，铸件总重量为 $G_{总}$，则

$$G_{总} = 10kg \times 4 = 40kg$$

浇冒口重量：　$40 \times 45\% = 18kg$

每型需要金属液重量：　$40kg + 18kg = 58kg$

即浇满铸型需要金属液重量为 58kg。如果浇包中金属液重量少于每型需要的金属液而盲目浇注，则会因浇不足导致铸件报废。

13.3.4　大型铸钢件的毛重及钢液总重量

铸钢件毛重 = 铸件净重（取零件图规定重量） + 工艺规定的机加工余量和铸死的孔槽 + 工艺补正量、起模斜度、铸肋、工艺上的特殊加厚部分 + 冒口补贴和冒口切割余量 + 铸件的胀箱量　　(13-4)

式中的前四项之和为铸件的公称毛重，再加上胀箱量为铸件的实际毛重。铸件的胀箱量与造型方法和铸件重量有关，见表 13-6。

表 13-6　铸件的胀箱量

铸件净重/kg		<80	81 ~ 500	501 ~ 5000	5001 ~ 20000	>20000
胀箱率（%）	手工造型	7	6	5	4	3
	机器造型	8	7	6	5	4

钢液总重 = 铸件毛重 + 浇冒口系统重量　　(13-5)

如果大型铸钢件安放冷铁过多，“浇冒口系统重量”这部分重量应减去。

浇包准备的金属液重量还要考虑浇注过程中胀型、跑火等金属液的损失，故浇包

准备的金属液比铸型所需金属液重量要大 5% ~15% 或更多。

13.4　计算铸铁的碳当量及共晶度

13.4.1　碳当量和共晶度的计算及判据

碳当量的高低和共晶度的大小，一是可以衡量铸铁偏离共晶点的程度对凝固过程可作出判断；二是可以间接地推断出铸造性能的好坏以及石墨化能力的大小。

1. 碳当量

用 w(CE) 表示，简化的计算公式如下：

$$w(\mathrm{CE}) = w(\mathrm{C}) + 1/3w(\mathrm{Si}+\mathrm{P}) \tag{13-6}$$

判据：当 w(CE) <4.26% 时，为亚共晶铸铁；

当 w(CE) =4.26% 时，为共晶铸铁；

当 w(CE) >4.26% 时，为过共晶铸铁。

2. 共晶度

用 Sc 表示，共晶度计算公式如下：

$$Sc = \frac{w(\mathrm{C})}{4.26\% - 1/3w(\mathrm{Si}+\mathrm{P})} \tag{13-7}$$

判据：当 $Sc<1$ 时，为亚共晶铸铁；

当 $Sc=1$ 时，为共晶铸铁；

当 $Sc>1$ 时，为过共晶铸铁。

13.4.2　计算案例

某铸铁成分（质量分数）：C3.7%、Si2.5%、Mn0.5%、P0.05%、S0.03%。试计算其碳当量及共晶度，并判断其属于亚共晶铸铁、共晶铸铁还是过共晶铸铁。

解：已知 w(C) =3.7%，w(Si) =2.5%，w(P) =0.05%，代入公式计算：

碳当量 $w(\mathrm{CE}) = w(\mathrm{C}) + 1/3w(\mathrm{Si}+\mathrm{P}) = 3.7\% + 1/3(2.5+0.05)\% = 4.55\%$

$$共晶度\ Sc = \frac{w(\mathrm{C})}{4.26\% - 1/3w(\mathrm{Si}+\mathrm{P})} = \frac{3.7\%}{4.26\% - 1/3(2.5+0.05)\%} = 1.09$$

答：该铸铁的碳当量 w(CE) >4.26%、共晶度 $Sc>1$，所以为过共晶铸铁。

13.5　铸铁件浇注系统计算

13.5.1　浇注时型腔内液面上升速度的计算

计算案例：有一铸铁件，铸件平均壁厚为 15mm，浇注位置高度为 350mm，浇注时间为 25s，试求浇注时型腔内液面的上升速度。

解：平均液面上升速度 $v=\frac{h}{t}$。已知 $h=350\text{mm}$，$t=25\text{s}$，则

$$v=\frac{h}{t}=\frac{350\text{mm}}{25\text{s}}=14\text{mm/s}$$

答：浇注时型腔内液面上升速度为 14mm/s。

13.5.2　计算浇注系统各组元截面积

计算案例：有一铸铁件，浇注重量为 200kg，采用中间注入式，半封闭浇注系统各组元截面积比为 $\Sigma A_{内}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{直}=1:1.3:1.1$，铸件高度为 300mm，浇注时间为 30s，阻力系数为 $\mu=0.42$，试求浇注系统各组元截面积值 $\Sigma A_{内}$、$\Sigma A_{横}$、$\Sigma A_{直}$。

解：由题知采用中间注入式，故内浇道以上铸件的高度 $h=150\text{mm}=15\text{cm}$，则

$$H_{\text{P}}=H_0-\frac{h}{8}=30\text{cm}-\frac{15\text{cm}}{8}=30\text{cm}-1.875\text{cm}=28.125\text{cm}$$

已知：$G=200\text{kg}$，$t=30\text{s}$，$\mu=0.42$，根据公式 $\Sigma A_{内}=\frac{G}{0.31\mu t\sqrt{H_{\text{P}}}}$ 计算：

$$\Sigma A_{内}=\frac{G}{0.31\mu t\sqrt{H_{\text{P}}}}=\frac{200}{0.31\times30\times0.42\times\sqrt{28.125}}\text{cm}^2=9.65\text{cm}^2$$

$$\Sigma A_{横}=1.3\Sigma A_{内}=1.3\times9.65\text{cm}^2=12.5\text{cm}^2$$

$$\Sigma A_{直}=1.1\Sigma A_{内}=1.1\times9.65\text{cm}^2=10.6\text{cm}^2$$

答：内浇道截面积为 9.65cm^2，横浇道截面积为 12.5cm^2，直浇道截面积为 10.6cm^2。

13.5.3　计算球墨铸铁件压边浇口截面积

计算案例：有一球墨铸铁件，浇注重量为 64kg，采用压边浇口，系数 m 取 0.5，试求压边浇口面积。

解：已知：$m=0.5$，$G=64\text{kg}$，代入公式计算：

$$A_{\min}=m\sqrt{G}=0.5\sqrt{64}\text{cm}^2=4\text{cm}^2$$

答：压边浇口面积为 4cm^2。

13.5.4　顶注、中注、底注时的平均压力头 H_{P} 的计算

计算案例：某一铸件浇注时高度 200mm，上箱总高度 300mm，试求顶注、中注、底注时的平均压力头 H_{P}。

解：已知 $h=20\text{cm}$，$H_0=30\text{cm}$，则

顶注时，内浇道以上铸件高度为 $h_0=0$，则平均静压头 $H_{\text{P}}=H_0=30\text{cm}$

中注时，内浇道以上铸件高度为 $h_0=\frac{h}{2}$，则平均静压头 $H_{\text{P}}=H_0-\frac{h}{8}=\left(30-\frac{20}{8}\right)\text{cm}=27.5\text{cm}$

底注时，内浇道以上铸件高度为 $h_0 = h$，则 $H_P = H_0 - \frac{h}{2} = \left(30 - \frac{20}{2}\right)\text{cm} = 20\text{cm}$

答：顶注时平均压力头为 30cm，中注时平均压力头为 27.5cm，底注时平均压力头为 20cm。

13.5.5　公式法计算灰铸铁件浇注系统各组元截面积

计算案例：有一灰铸铁件，采用中注式半封闭浇注系统（$\Sigma A_{内}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{直} = 1:1.3:1.1$），铸件重量 900kg，浇冒口总重 180kg，浇注时间 51s，流量系数 $\mu = 0.48$，上型总高度 700mm，铸件浇注高度 800mm，试用公式法确定浇道各组元截面积和直浇道直径 $D_{直}$。

解：1）浇注总重量为 $G = 900\text{kg} + 180\text{kg} = 1080\text{kg}$，又已知浇注时间 $t = 51\text{s}$，流量系数 $\mu = 0.48$，上型高度 $H_0 = 70\text{cm}$，铸件浇注位置高度 $h = 80\text{cm}$，则

$$中注式的平均静压头\ H_P = H_0 - \frac{h}{8} = 70\text{cm} - \frac{80\text{cm}}{8} = 60\text{cm}$$

将以上各项数值代入公式，则

$$\Sigma A_{内} = \frac{G}{0.31\mu t\sqrt{H_P}} = \frac{1080}{0.31 \times 0.48 \times 51 \times \sqrt{60}}\text{cm}^2 = 18.4\text{cm}^2$$

$$\Sigma A_{横} = 18.4 \times 1.3\text{cm}^2 = 23.9\text{cm}^2$$

$$\Sigma A_{直} = 18.4 \times 1.1\text{cm}^2 = 20.2\text{cm}^2$$

2）由面积计算公式 $\Sigma A_{直} = \pi r^2 = \pi\left(\frac{D_{直}}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{4}D_{直}^2$，得 $D_{直} = \sqrt{\frac{\Sigma A_{直}}{0.785}}$

则直浇道直径 $D_{直}$ 为　$D_{直} = \sqrt{\frac{\Sigma A_{直}}{0.785}} = \sqrt{\frac{20.2}{0.785}}\text{cm} = 5.1\text{cm} = 51\text{mm}$

13.6　芯头承压面积核算

对于芯头较小重量较大和浇注时受金属液浮力作用较大的大型砂芯，在初步确定芯头尺寸后，要对其承压面积进行验算。

计算案例：已知图 13-2 所示为砂型铸造铸型图（湿型）。$[\sigma_{压}] = 6\text{N/cm}^2$。金属液密度 $\rho = 7\text{g/cm}^3$，砂芯重力 $G_{芯} = 1000\text{N}$，$K = 1.3$。试计算在浇注时砂芯所受的最大浮力，验算上芯座的承压强度。

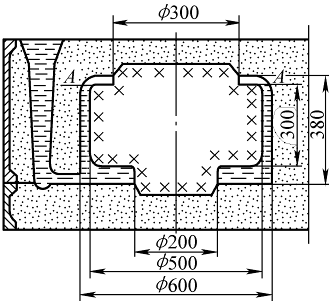


图 13-2　砂型湿型铸型图

解：1）计算砂芯所受浮力 $F_{浮}$

根据题意知：$D_1 = 0.5\text{m}$，$D_2 = 0.3\text{m}$，$H = 0.3\text{m}$，代入公式则得

$$F_{浮} = \frac{\pi}{4}(D_1^2 - D_2^2)H\rho g = \frac{\pi}{4}(0.5^2 - 0.2^2) \times 0.3 \times 7000 \times 9.8\text{N} \approx 3393\text{N}$$

2）上芯座所受压力

$$F_{芯} = F_{浮} - G_{芯} = 3393\text{N} - 1000\text{N} = 2393\text{N}$$

3）上芯座实际承压面积 $A_{实}$

$$A_{实} = \frac{\pi}{4} \times 30^2 = 707\text{cm}^2$$

4）上芯座许用的最小承压面积 $A_{最小}$

$$A_{最小} = \frac{KP_{芯}}{[\sigma_{压}]} = \frac{1.3 \times 2393}{6}\text{cm}^2 = 518.5\text{cm}^2$$

因 $A_{最小} < A_{实}$，故上芯座承压强度已够。

13.7 铸钢凝固收缩的相关计算

13.7.1 碳钢的体收缩率

碳钢的体收缩率大小与含碳量和浇注温度有关，可由图 13-3 查得。

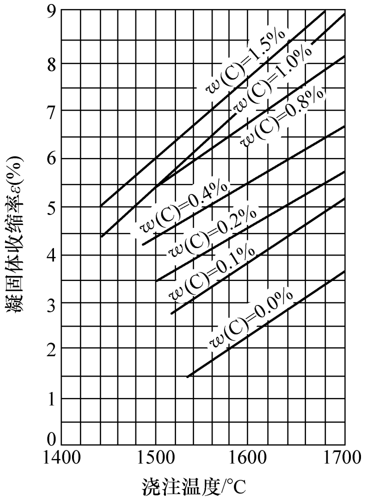


图 13-3　碳钢的体收缩率 ε

13.7.2 合金钢的体收缩率

合金钢的体收缩率不仅与含碳量和浇注温度有关，还与合金元素含量有关。表 13-7 是浇注温度小于等于 1600℃ 时合金元素对铸钢体收缩系数的影响。体收缩系数是指每含 1%（质量分数）合金元素引起体收缩率 ε 的变化。

应用图 13-3 和表 13-7 可计算合金钢体收缩率。

表 13-7　合金元素对铸钢体收缩系数的影响

合金元素	W	Ni	Mn	Cr	Si	Al
体收缩系数	-0.53	-0.0354	+0.0585	+0.12	+1.03	+1.700

ZG12Cr18Ni9Ti 合金钢的体收缩率见表 13-8。

表 13-8　计算 ZG12Cr18Ni9Ti 体收缩率 ε

ZG12Cr18Ni9Ti 的化学成分(质量分数,%)		体收缩系数	体收缩率 ε(%)
C	0.10	—	+3.7(查图 13-3)
Mn	1.20	+0.0585	+0.0702 = 1.2 × (+0.0585)
Si	1.20	+1.03	+1.236 = 1.2 × (+1.03)
Cr	18.00	+0.12	+2.160 = 18 × (+0.12)
Ni	10.00	-0.0354	-0.354 = 10 × (-0.0354)
合计			+6.81

注:浇注温度约为 1600℃(热电偶测)。为安全起见,取 $\varepsilon = 7\%$。

13.7.3　碳钢缩孔体积的计算

计算案例:已知碳的质量分数为 0.45% 的中碳钢,浇注温度为 1600℃,它开始凝固的温度为 1510℃,凝固结束的温度为 1440℃。正方体铸件边长为 20cm。合金的凝固温度范围较窄,接近于逐层凝固,凝固期间表层硬壳的收缩不计,试计算其缩孔体积。($\alpha_{V液} = 1.0 \times 10^{-4}/℃$,0.45% 的中碳钢凝固体收缩率 $\varepsilon_{V凝} = 4.3\%$)

解:

1)液态体收缩率公式:$\varepsilon_{V液} = \alpha_{V液}(t_浇 - t_液) \times 100\%$

已知:$\alpha_{V液} = 1.0 \times 10^{-4}/℃$,$t_浇 = 1600℃$,$t_液 = 1510℃$,代入公式计算:

$$\varepsilon_{V液} = \alpha_{V液}(t_浇 - t_液) \times 100\% = 1.0 \times 10^{-4} \times (1600 - 1510) \times 100\% = 0.9\%$$

因此,液态体收缩为 $V_{液缩}$,则 $V_{液缩} = V_{铸件} \times \varepsilon_{V液} = 20^3 cm^3 \times 0.9\% = 8000cm^3 \times 0.9\% = 72cm^3$

缩后液态体积为 $V_液$,则 $V_液 = 8000cm^3 - 72cm^3 = 7928cm^3$

2)凝固体收缩,0.45% 的中碳钢凝固体收缩率 $\varepsilon_{V凝} = 4.3\%$

因此凝固体收缩:$V_{凝缩} = V_液 \times \varepsilon_{V凝} = 7928cm^3 \times 4.3\% = 340.9cm^3 \approx 341cm^3$

3)缩孔总体积:$V_{缩总} = V_{液缩} + V_{凝缩} = 72cm^3 + 341cm^3 = 413cm^3$

13.8　铸钢件模数计算

13.8.1　凝固模数表达式

铸件的凝固时间取决于它的体积和冷却表面积的比值,其比值称为凝固模数

（简称模数）。模数用下式表达

$$M=\frac{V}{A} \tag{13-8}$$

式中　M——模数（mm）；

V——体积（cm^3）；

A——冷却表面积（cm^2）。

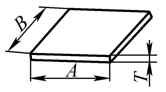
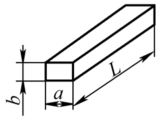
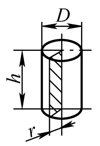
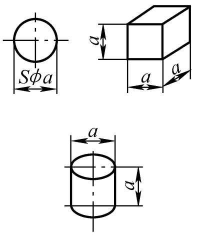
铸件的模数小，则凝固时间短；铸件的模数大，则凝固的时间长；模数相同的铸件，则凝固时间相等或相近。

13.8.2　简单几何体的模数计算

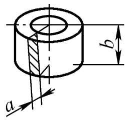
任何复杂铸件，均可看成是由许多简单几何体（板、杆、圆柱体等）组合而成的。只要掌握一些简单几何体、组合体的模数计算，就不必再用繁琐公式计算铸件的体积和表面积。

简单几何体的模数计算见表 13-9。

表 13-9　简单几何体的模数计算

序号	名　称	图　示	模数计算公式
1	平面或圆板		$a>5T, b>5T$ $M=\frac{T}{2}$
2	矩形或方形长杆		$L>a, b$ $M=\frac{ab}{2(a+b)}$
3	圆柱形		$h>2.5D$　$M=\frac{D}{4}$ $h\leqslant 2.5D$　$M=\frac{rh}{2(r+h)}$
4	球形 正圆柱形 立方体		$M=\frac{a}{6}$

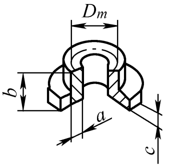
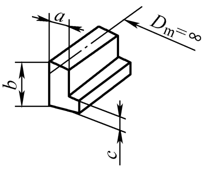
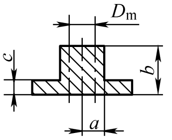
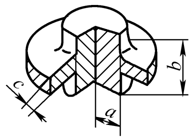
（续）

序号	名　　称	图　　示	模数计算公式
5	空心圆柱体 环形体		$b<5a$ 时，视作展开的长杆体 $M=\dfrac{ab}{2(a+b)}$ $b\geqslant 5a$ 时，视作展开的板 $M=\dfrac{a}{2}$

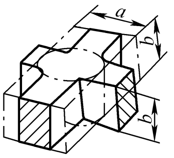
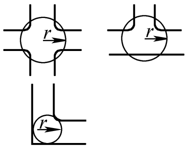
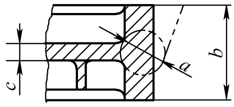
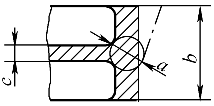
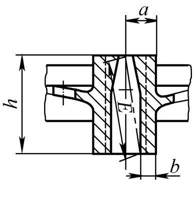
13.8.3　组合体模数的计算

简单几何组合体模数的计算见表 13-10。

表 13-10　简单几何组合体模数的计算

序号	名称	组合体图形	模数计算公式
1	杆（环形体）- 板（大法兰）组合		$b<5a$ $M=\dfrac{ab}{2(a+b)-c}$
2	杆-板组合		$M=\dfrac{ab}{2(a+b)-c}$
3	板上凸台		$M=\dfrac{ab}{2(a+b-c)}$
4	杆板组合		$M=\dfrac{ab}{2(a+b-c)}$

（续）

序号	名称	组合体图形	模数计算公式
5	十字杆组合		$M=\dfrac{ab}{2(a+b)}$
6	T、+、L 板组合		$M=r$
7	轮缘		$M=\dfrac{ab}{2(a+b)-c}$
8	轮缘		$M=\dfrac{ab}{2(a+b)-c}$
9	轮毂		视作梯形圆环,$A=\dfrac{a+b}{2}h$ $S=a+b+h+E$(斜边长) 所以 $M=\dfrac{A}{S}=\dfrac{\text{截面积}}{\text{截面周长}}$

13.8.4　杆的模数

1）不同尺寸的矩形和长方形截面长杆的模数，由图 13-4 查处。

2）对于圆筒（$b<5a$）、圆盘（$a<5T$）、L 形截面、法兰套、轮毂以及杆板相交的热节点，通常，均利用杆的模数计算公式计算。

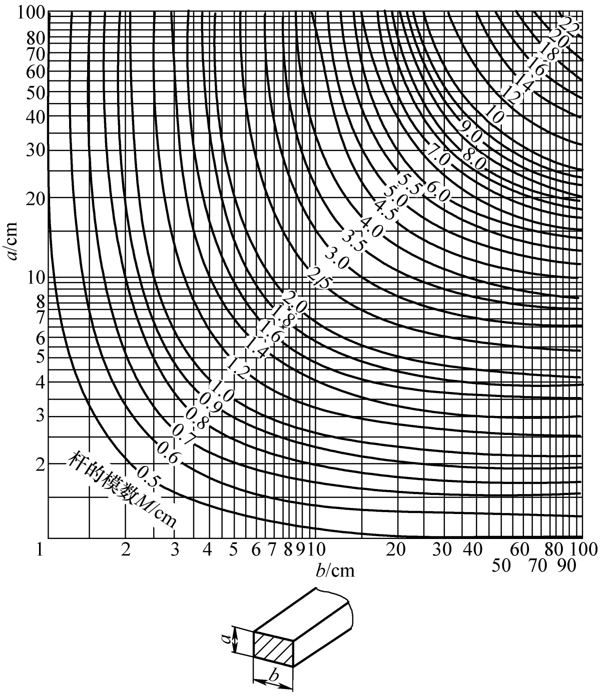


图 13-4　杆状体模数计算图表

13.9　模数法计算铸钢件冒口

13.9.1　由冒口模数和表面积计算冒口体积

计算案例： 某一冒口的模数为 1.77cm，其表面积为 1102cm²，试问它的体积是多少？

解： 由模数的概念知，模数 $=\dfrac{体积}{表面积}$，则

$$体积=模数\times表面积=1.77\text{cm}\times1102\text{cm}^2=1951\text{cm}^3$$

答：该冒口体积为 1951cm³。

13.9.2　计算不同形体铸件模数，判断冷却快慢

计算案例： 有三个铸钢件呈柱体形，它们的长度均为 10dm，圆柱体直径 $d=$ 3dm，正方柱体的截面积 $A_{正}=3\text{dm}\times3\text{dm}$，长方柱体截面积 $A_{长}=0.6\text{dm}\times15\text{dm}$。分别计算它们的模数；三个柱体中哪一个冷却最快？哪一个冷却最慢？为什么？

解： 1）计算三个形体的模数。

圆柱体铸件模数：

$$M_{圆柱}=\frac{\pi r^2 h}{2\pi r(r+h)}=\frac{\pi\times15^2\text{cm}^2\times100\text{cm}}{2\pi\times15\text{cm}\times(15+100)\text{cm}}=\frac{70650\text{cm}^3}{10833\text{cm}^2}\approx6.6\text{cm}$$

正方体铸件模数：

$$M_{正方}=\frac{30^2\times100}{30^2\times2+30\times100\times4}=\frac{90000\text{cm}^3}{13800\text{cm}}=6.5\text{cm}$$

长方体铸件模数：

$$M_{长方}=\frac{6\text{cm}\times150\text{cm}\times100\text{cm}}{6\text{cm}\times150\text{cm}\times2+6\text{cm}\times100\text{cm}\times2+150\text{cm}\times100\text{cm}\times2}=\frac{90000\text{cm}^3}{33000\text{cm}^2}=2.7\text{cm}$$

2）比较之，圆柱体铸件的模数最大，含热量最多，故冷却最慢。长方体铸件的模数最小，即它的散热面积最大，故冷却最快。

13.9.3　计算同体积、不同表面积铸件的模数，判断冷却快慢

计算案例：甲、乙两个铸件的体积相等，均为 2100cm^3，甲铸件的表面积为 1100cm^2，乙铸件的表面积为 840cm^2，试比较它们的模数，哪一个铸件冷却得较快？为什么？

解：甲铸件的模数：　$M_{甲}=\frac{2100\text{cm}^3}{1100\text{cm}^2}=1.91\text{cm}$

乙铸件的模数：　$M_{乙}=\frac{2100\text{cm}^3}{840\text{cm}^2}=2.5\text{cm}$

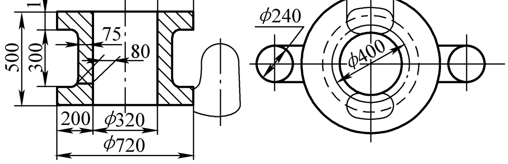
比较之，$M_{甲}<M_{乙}$

答：由甲乙两铸件的模数可知，甲铸件比乙铸件冷却得快。这是因为甲铸件的模数比乙铸件的小，表面积大，散热较快。

13.9.4　模数法计算冒口

以双法兰铸钢件为例，说明模数法计算冒口的方法，见表 13-11。

表 13-11　模数法计算冒口

简图	 双法兰铸钢件的冒口示意图 材质：ZG310-570；浇注温度：150℃

（续）

序号	程　　序	计 算 方 法
1	计算铸件模数 $M_{件}$	铸件上有多少个热节，一般应在每个热节上安放冒口。因而，应分别计算出不同热节部位的模数，以便安放不同大小的冒口 考虑上、下法兰各放两个冒口，每个冒口的补缩区是半个法兰，其模数根据角形组合体公式计算 $M_{件}=\frac{ab}{2(a+b)-c}$ 已知：$a=10\text{cm}$，$b=20\text{cm}$，非冷却面 $c=8\text{cm}$ 所以 $M_{件}=\frac{10\text{cm}\times20\text{cm}}{2\times(10+20)\text{cm}-8\text{cm}}\approx3.85\text{cm}$
2	求冒口模数和冒口颈模数 $M_{冒}$ 及 $M_{颈}$	根据计算出的铸件模数，应用公式计算出对应部位的模数 冒口模数　　$M_{冒}=1.2M_{件}=1.2\times3.85\text{cm}\approx4.6\text{cm}$ 底部法兰采用浇口通过暗冒口 冒口颈模数为 $M_{颈}=1.03M_{件}=1.03\times3.84\text{cm}\approx4\text{cm}$
3	确定铸件的体收缩率 ε	应用图 13-3、表 13-7 查出 已知：双法兰铸件的材质为 ZG310-570，浇注温度为 1500℃，根据图 13-3 取 $\varepsilon=4.5\%$
4	确定冒口形状和尺寸	在冒口模数、铸件体收缩率 ε 确定后，可根据选定的冒口类型、形状，在有关模数法计算冒口的表中查出所需冒口的具体尺寸 在标准腰形明冒口（$b=2a$、$h=1.5a$）表中查得：$M_{冒}=4.5\text{cm}$ 的明冒口，其冒口根部的尺寸分别是 $a=190\text{mm}$，$b=380\text{mm}$，$h=285\text{mm}$，单个冒口重 124kg，当钢液体收缩率为 4.5% 时，每个冒口的最大补缩能力为 280kg 底部暗侧冒口在标准侧冒口（$h=1.5d$）表上查得：$M_{冒}=4.5\text{cm}$ 的圆柱形暗冒口，其根部直径为 $\phi240\text{mm}$，高 $h=360\text{mm}$，冒口颈宽度 $a=240\text{mm}$，颈高 $b=128\text{mm}$，单个冒口重 98kg，每个冒口的最大补缩能力为 195kg
5	校核冒口数目	根据冒口有效补缩距离校核 1）冒口分布如表图。近似的用圆筒周长 $\pi D=\pi\times400\text{mm}=1256\text{mm}$ 代替法兰热节中心周长 2）上、下法兰均看为厚度 100mm、宽厚比为 2∶1 的杆件，查图 3-15a 得冒口区长度为 150mm，冒口的总作用范围是（以尺寸较小的下部暗冒口为依据）： $(240\text{mm}+2\times150\text{mm})\times2=1080\text{mm}$，略小于 1256mm 说明暗冒口数目不足，但对于没有气密性要求的铸件来说，上述 4 个冒口基本上可满足使用要求
6	校核冒口最大补缩能力	从上述结果知四个冒口最大补缩能力的总重量为 $G_{补}=280\text{kg}\times2+195\text{kg}\times2=950\text{kg}$ 铸件重量为　　$G_{件}=710\text{kg}$ 对比，可见冒口有足够金属液供铸件补缩

13.10　比例法计算铸钢件冒口尺寸

计算案例：有一铸钢件的热节圆直径 D_0 为 120mm，若按 $D=(1.5\sim2.5)D_0$ 比例关系确定冒口直径 D，计算该铸钢件所设最大和最小冒口直径各是多少？

解：

$$D_{最大}=120\times2.5\text{mm}=300\text{mm}$$

$$D_{最小}=120\times1.5\text{mm}=180\text{mm}$$

答：该铸钢件的最大冒口直径为 300mm，最小冒口直径为 180mm。

13.11　铸钢件致密性的判断计算

计算案例：有一板状铸钢件，壁厚 $T=75$mm，长度 $L=1600$mm，宽度 250mm。如采用两个直径 $D=2T=150$mm 的圆形顶冒口，铸件是否会产生轴线缩松？如有轴线缩松，冒口和冷铁应怎样设置，试画图说明。

解：1）轴线缩松长度为：

$$1600\text{mm}-(D\times2+4.5T\times2+4T)=325\text{mm}$$

铸件中约有 325mm 长的轴线缩松区，故只用两个冒口时不能保证铸件质量。

2）如在两个冒口之间增设冷铁，则可增加冒口的补缩距离

$$=(4.5T\times2+100)-4T=475\text{mm}$$

$$即\ 475\text{mm}>325\text{mm}$$

所以，两冒口之间设置冷铁可以消除该铸件中轴线缩松。

3）有轴线缩松和无轴线缩松，如图 13-5 所示。

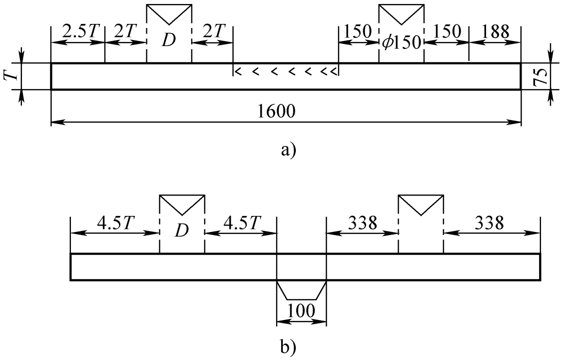


图 13-5　板状铸钢件冒口的补缩距离

a）有轴线缩松　b）轴线缩松消除

13.12　铸造工艺设计计算

13.12.1　球墨铸铁件工艺计算

计算案例：图 13-6 所示为 QT450-10 球墨铸铁齿圈。采用干型铸造。试确定：①铸造收缩率；②分型面及浇注位置；③砂芯；④浇冒口形式、数量及位置；⑤出气孔位置及冷铁位置；⑥工艺出品率（设铸铁密度为 7.3kg/dm^3，浇冒口总重量为铸件重量的 40%）。

解：1）铸造收缩率取 0.8%。

2）工艺出品率

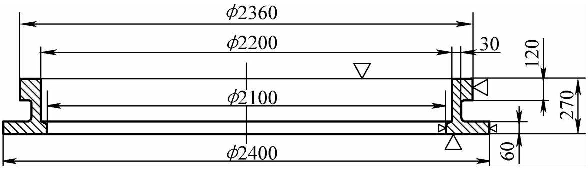


图 13-6　球墨铸铁齿圈零件图

①形体分析，计算齿圈总体积 V：

$$V_1 = 0.8 \times (23.6^2 - 22^2) \times 0.12\mathrm{dm}^3 \approx 7\mathrm{dm}^3$$

$$V_2 = 0.8 \times (24^2 - 21^2) \times 0.06\mathrm{dm}^3 \approx 6.5\mathrm{dm}^3$$

$$V_3 = 0.8 \times (22.6^2 - 22^2) \times 9\mathrm{dm}^3 \approx 193\mathrm{dm}^3$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 7\mathrm{dm}^3 + 6.5\mathrm{dm}^3 + 193\mathrm{dm}^3 = 206.5\mathrm{dm}^3$$

②铸件重量：　　$G = 7.3\mathrm{kg/dm}^3 \times 206.5\mathrm{dm}^3 = 1507\mathrm{kg}$

③浇冒口重量：$G_{浇冒} = 40\% G = 40\% \times 1507\mathrm{kg} \approx 603\mathrm{kg}$

④工艺出品率 $= \dfrac{G}{G + G_{浇冒}} \times 100\% = \dfrac{1507}{1507 + 603} \times 100\% = 71.4\%$

3）分型面及浇注位置、砂芯、浇冒口形式、数量及位置、出气孔位置及冷铁位置，见图 13-7 所示的铸造工艺图。

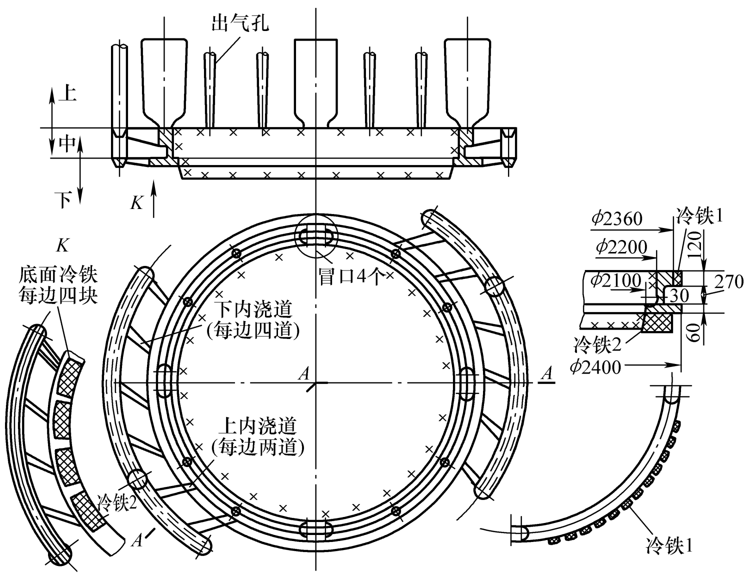


图 13-7　球墨铸铁齿圈铸造工艺图

注：1. 两个分型面，三开箱造型。
2. 砂芯，中间一个大的砂芯。
3. 明冒口 4 个均布。阶梯浇道，两侧分布，上内浇道每边两道，下内浇道每边四道。
4. 出气孔 8 个位于上箱，每两个冒口之间均布两个出气孔。
5. 冷铁两种，下型冷铁 2 位于铸件底面，分布两边。上型冷铁 1 位于铸件侧面。

13. 12. 2　铸钢件工艺计算

计算案例: 图 13-8 所示为铸钢轮坯件,采用实样模造型,大量生产。设其密度为 $7.8\mathrm{kg/dm^3}$。试确定:①分型面及浇注位置;②分模线(模样拆活部分);③冒口形状、位置及数量;④补贴;⑤砂芯;⑥浇注系统位置;⑦工艺出品率(设浇冒口总重量为铸件重量的 65%)。

解: 图 13-9 为铸钢轮坯的铸造工艺图。由铸造工艺图看出:①两箱造型,分型面位于铸件的一端;铸件位于下箱。②实样模,但轮毂上部为活动部分,按分模线分模。上下四个肋板为活块。③轮缘上设四个腰形大气压暗冒口均布,轮毂上设置两个腰形大气压暗冒口对称分布。④冒口下均设有补贴。⑤在轮毂中间设一个砂芯,采用定位芯头。⑥浇注系统采用底注式,埋耐火砖管。⑦工艺出品率计算如下:

轮缘的体积:　$V_1 = 0.8 \times (8.2^2 - 6.6^2) \times 0.2\mathrm{dm^3} \approx 3.8\mathrm{dm^3}$

轮毂的体积:　$V_2 = 0.8 \times (3.6^2 - 2.0^2) \times 2.3\mathrm{dm^3} \approx 16.5\mathrm{dm^3}$

辐板的体积:　$V_3 = 0.8 \times (6.6^2 - 3.6^2) \times 0.4\ \mathrm{dm^3} \approx 9.8\mathrm{dm^3}$

加强肋的体积:$V_4 = (6.6 - 3.6) \times \dfrac{0.3 + 0.8}{2} \times \left(1 - 0.1 - \dfrac{0.4}{2}\right) \times 4\mathrm{dm^3} \approx 5.9\mathrm{dm^3}$

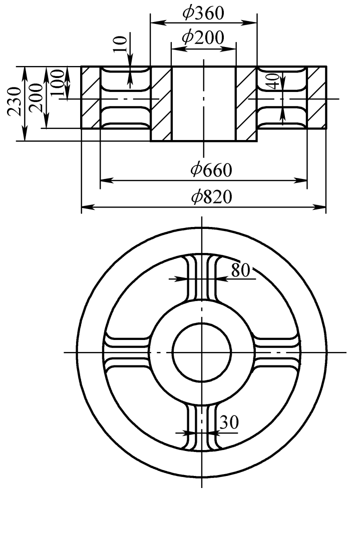


图 13-8　铸钢轮坯

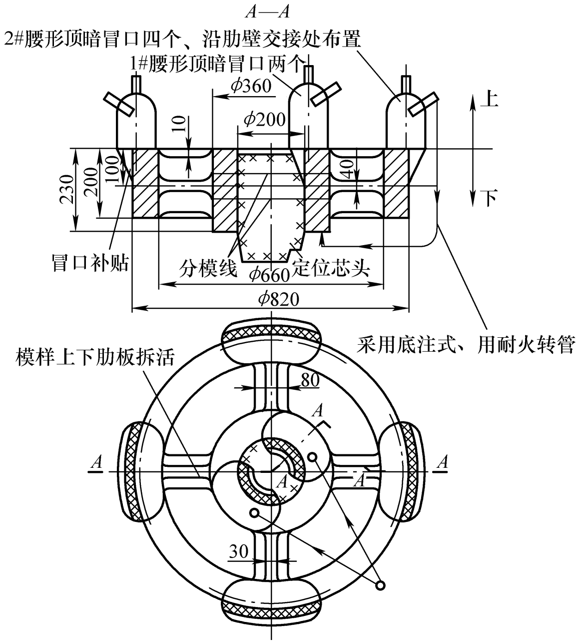


图 13-9　铸钢轮坯铸造工艺图

轮坯的体积:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 36\mathrm{dm^3}$$

铸件重量:　　$G = 7.8\mathrm{kg/dm^3} \times 36\mathrm{dm^3} \approx 281\mathrm{kg}$

浇冒口重量：　$G_{浇冒}=281\text{kg}\times 65\% \approx 183\text{kg}$

$$工艺出品率=\frac{281}{281+183}\times 100\% = 60.6\%$$

13.13　关于砂型紧实度的计算

计算案例： 有一砂型，分别在砂型的顶部和靠模板处（底部）各取一块体积为 5cm^3 的砂样，并测得顶部砂样的重量为 7.5g，底部砂样的重量为 8.5g，分别计算出两处砂型的紧实度 $\delta_{顶}$ 和 $\delta_{底}$。

解： 紧实度公式为 $\delta=\dfrac{G}{V}$，则

砂型顶部的紧实度：　$\delta_{顶}=\dfrac{G_{顶}}{V}=\dfrac{7.5\text{g}}{5\text{cm}^3}=1.5\text{g/cm}^3$

砂型底部紧实度：　$\delta_{底}=\dfrac{G_{底}}{V}=\dfrac{8.5\text{g}}{5\text{cm}^3}=1.7\text{g/cm}^3$

答：砂型顶部的紧实度为 1.5g/cm^3，砂型底部紧实度为 1.7g/cm^3。

13.14　刮板造型轮形件的分肋计算

刮板造型时，常遇到轮形件（齿轮、链轮、手轮、带轮等），在刮制后需要分肋和补肋的操作。常用经验数据法和简单作图法，画出分型面上圆线的等分线。

13.14.1　简单作图法

1. 四等分法

用直角尺将所需等分的圆，通过它的圆心作两根垂直线，此线与圆周的四个交点，即等分了圆及圆周。

2. 六等分（三等分）法

以所需等分圆的半径为弦长，依次在圆周上扎出各点，然后和圆心相连，便六等分（或三等分）了圆及圆周。

3. 五等分法

如图 13-10 所示。先过圆心 O 作任意相互垂直线 AC' 和 $A'B'$。再以 B'、C' 两点为圆心，以所要等分圆的直径为半径，作圆弧相交于 F 点。最后用 OF 作弦长，依次在圆周上扎出各点（A、B、C、D、E），便五等分圆及圆周。

4. 七等分法

如图 13-11 所示。先过圆心 O 作任意直线 AB'，再以 B' 为圆心，OB' 为半径在圆周上划弧相交于 C' 点，连接 $B'C'$ 线并作它的垂直平分线，并与 $B'C'$ 相交一点 D'。则 OD' 便是七等分圆周的弦长，以此在圆心上扎出 A、B、C、D、E、F、G 各点，再将各点与圆心相

连,便七等分了圆及圆周。

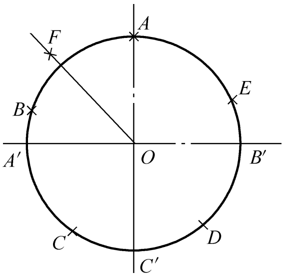


图 13-10　五等分圆周作图法

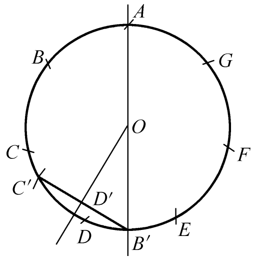


图 13-11　七等分圆周作图法

13.14.2　公式计算法

轮形件刮板造型分肋时,需要知道等分圆的弦长。等分圆的弦长可由下式得出(见图 13-12):

$$L = 2R\sin\frac{\alpha}{2} \tag{13-9}$$

式中　α——弦长对应的圆心角;

R——等分圆的半径;

L——等分圆的弦长。

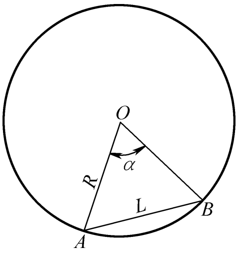


图 13-12　弦长与圆心角的关系

当知道轮形件的肋数时，除 360°，则得出等分弦长对应的圆心角 α，分型面上圆线半径 R 也知，就可以计算出等分圆的弦长 L。

例如：刮板造型时，需要在半径为 520mm 的圆线上挖制两个凸台，凸台间的圆心角是 46°，求两凸台的中心距。

求两凸台中心距相当于求圆心角为 46°时的弦长，即

$$两凸台中心距 = 2R\sin\frac{\alpha}{2} = 2\times520\text{mm}\times\sin\frac{46°}{2} = 406\text{mm}$$

13.14.3　经验数据法

已知轮形件的肋数（轮辐数）和分型面上画出的圆线半径，按表 13-12 经验数据，查得等分圆弦长。

表 13-12　等分圆弦长 L 和肋数 n 对应关系

肋数 n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
等分圆弦长 L	1. 732R	1. 414R	1. 176R	R	0. 866R	0. 765R	0. 684R	0. 618R	0. 564R	0. 518R	0. 478R	0. 446R

半径 R 根据砂型大小取值。为简化计算, R 取容易计算的值。例如, R 取 100mm,则七等分圆的弦长则是 86. 6mm。

13.14.4　计算案例

已知：圆线尺寸为 1.2m，带轮有 5 根轮辐，求其弦长 S?

解：已知 $R=1.2\text{m}$，$\alpha=360°/5=72°$，代入公式 $S=2R\sin\alpha/2$ 计算：

$$S=2\times1.2\text{m}\times\sin72°/2\approx2.4\text{m}\times0.588\approx1.41\text{m}$$

答：弦长 S 约等于 1.41m。

13.15　抬型力与紧固力的计算

铸型合型以后，金属液浇入型腔，则型腔内各个部位都受到金属液压力的作用，使得型腔胀大，导致铸件胀砂缺陷，并产生很大的抬型力，把上砂型抬起，极易引起浇注过程跑火等严重事故发生。为杜绝抬型跑火事故发生，一定要计算出抬型力与紧固力的大小，这样才能正确确定合适的压铁重量（或选择合适的紧固螺栓）。

13.15.1　金属液静压力产生的抬型力

金属液静压力产生的抬型力计算，如图 13-13 所示。

上型受到金属液静压力产生的抬型力，相当于图中 A—A 面（或称隔片）上阴影部分的液体重量。用下式表示：

$$F_{型}=\rho Vg=\rho Ahg \tag{13-10}$$

式中　$F_{型}$——金属液作用于上型的抬型力（N）；

ρ——金属液密度（kg/m^3）；

V——图中阴影部分体积（m^3）；

A——上型腔顶面的水平投影面积（m^2）；

h——A—A 平面到浇口杯液面高度（m）；

g——重力加速度（m/s^2），$g=9.8\text{m/s}^2$。

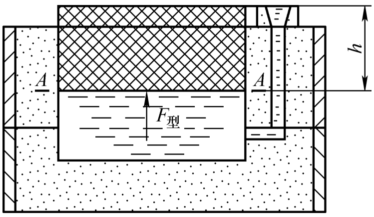


图 13-13　金属液静压力产生的抬型力计算示意图

由式（13-10）可知：与上型水平方向接触的金属液面积 A 越大，浇注系统与型腔内液面位差 h 越大，金属液密度越大，则抬型力 $F_{型}$ 越大。而抬型力大小与铸件重量没有关系。在生产的工艺措施中，若上型放置浇口杯，加大了浇口杯与型腔中的金属液位差，抬型力增大。若在铸型型腔上方设置明冒口，减少了金属液作用在型腔顶面的面积，则抬型力减小。

13.15.2　型芯剩余浮力产生的抬型力

铸型中浸在金属液中的型芯，有的会受金属液的浮力作用，当型芯的浮力大于型芯自重时，则通过芯头（或芯撑）对上型产生抬型力。由型芯对上型产生的抬型力等于型芯的浮力与型芯重力之差（型芯剩余浮力），按下式计算：

$$F_{芯}=(\rho-\rho_{芯})V_{芯}g \tag{13-11}$$

式中　$F_{芯}$——型芯剩余浮力产生的抬型力（N）；

ρ——金属液密度（kg/m^3）；

$\rho_{芯}$——型芯密度（kg/m^3），一般取 $1.5\times10^3kg/m^3$；

$V_{芯}$——被金属液包围部分的型芯体积（m^3）；

g——重力加速度（m/s^2），$g=9.8m/s^2$。

提示：在计算型芯剩余浮力产生的抬型力时应仔细分析型芯的放置形式，不是所有浸入金属液的型芯都会受到浮力作用。

13.15.3 铸型紧固力

在浇注时，金属液对上型的作用力如下所述：

1）金属液静压力作用于上型产生的抬型力 $F_{型}$，方向向上。

2）型芯剩余浮力产生的抬型力 $F_{芯}$，方向向上。

3）浇注时金属液冲击上型产生的动压力，方向向上。

4）上型自身重力，方向向下。

其中，动压力因影响因素较多计算很困难，一般都不计算，可用上型自身重力来抵消部分动压力。但一般情况下动压力较大，常大于上型自身重力，为安全起见，在计算铸型紧固力时，在 $F_{型}$ 和 $F_{芯}$ 合力基础上，加大一个安全系数 K。因此，浇注时铸型紧固力计算公式如下：

$$F=K(F_{型}+F_{芯}) \tag{13-12}$$

式中　F——铸型紧固力（N）；

K——安全系数，一般取 1.3～1.5，暗冒口时取 1.5，明冒口时取 1.3。

13.15.4 计算案例

例 1　有一平板铸铁件尺寸为 1000mm×600mm×40mm。铸铁密度取 $\rho=7.2\times10^3kg/m^3$，安全因数 $K=1.3$。铸型图如图 13-14 所示，上型高度 300mm，若上型高度始终不变，分别计算出卧、横、竖三种浇注位置时的铸型紧固力？并分别计算铸型紧固力与铸件重力的比值？

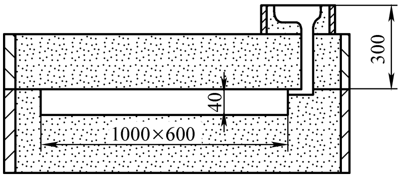


图 13-14　平板铸件铸型图

解：（1）计算铸型紧固力　该铸件为平板无型芯（$F_{芯}=0$），故铸型紧固力按 $F=KF_{型}=K\rho Vg$ 计算。

1）卧浇时，铸型紧固力为

$$F_{卧}=KF_{型}=K\rho Vg=1.3\times7.2\times10^3\times(1\times0.6\times0.3)\times9.8N=16511N$$

2）横浇时，铸型紧固力为

$$F_{横}=KF_{型}=K\rho Vg=1.3\times7.2\times10^3\times(1\times0.04\times0.3)\times9.8N=1101N$$

3）竖浇时，铸型紧固力为

$$F_{竖}=KF_{型}=K\rho Vg=1.3\times7.2\times10^3\times(0.6\times0.04\times0.3)\times9.8N=660N$$

（2）计算铸型紧固力与铸件重力的比值　铸件重力为

$$F_{重} = \rho Vg = 7.2 \times 10^3 \times (1 \times 0.6 \times 0.04) \times 9.8\text{N} = 1693\text{N}$$

1）卧浇时比值为　　$F_{卧}: F_{重} = 16511: 1693 = 9.75$

2）横浇时比值为　　$F_{横}: F_{重} = 1101: 1693 = 0.65$

3）竖浇时比值为　　$F_{竖}: F_{重} = 660: 1693 = 0.39$

答：铸型的紧固力卧浇时为 16511N，横浇时为 1101N，竖浇时为 660N。铸型紧固力与铸件重力的比值：卧浇时为 9.75，横浇时为 0.65，竖浇时为 0.39。

提示：铸型紧固力的大小与金属液静压力作用于上型的面积有关。一些小型铸型常用压铁来紧固，由于铸铁金属液密度与压铁密度近似相等，只要压铁重量大于隔片上面金属液柱重量的 1.2 ~ 1.3 倍即可。对于有芯铸型，也可用类似方法估算压铁重量。

例 2　有一铸铁管铸型，如图 13-15 所示。铸铁密度取 $\rho = 7 \times 10^3\text{kg/m}^3$，型芯密度 $\rho_{芯} = 1.5 \times 10^3\text{kg/m}^3$，重力加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$，安全因数 $K = 1.2$，试求压铁重力？

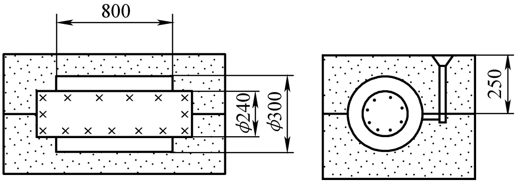


图 13-15　铸铁管铸型

解：由铁液静压力所产生的抬型力 $F_{型}$ 为

$$F_{型} = \rho Vg = 7 \times 10^3 \times 0.8 \times 0.3 \times 0.25 \times 9.8\text{N} = 4116\text{N}$$

由型芯剩余浮力所产生的抬型力 $F_{芯}$ 为

$$F_{芯} = (\rho - \rho_{芯}) V_{芯} g = (7 \times 10^3 - 1.5 \times 10^3) \times 0.8 \times (0.24)^2 \times 0.8 \times 9.8\text{N} = 1987\text{N}$$

压铁重力 $F_{重}$ 为

$$F_{重} = K(F_{型} + F_{芯}) = 1.2 \times (4116\text{N} + 1987\text{N}) = 7324\text{N}$$

答：压铁重力为 7324N。

例 3　某铸钢件铸型如图 13-16 所示。铸钢密度 $\rho = 7.9 \times 10^3\text{kg/m}^3$，砂芯密度 $\rho_{芯} = 1.5 \times 10^3\text{kg/m}^3$，重力加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$，安全因数 $K = 1.3$。计算铸型紧固力。

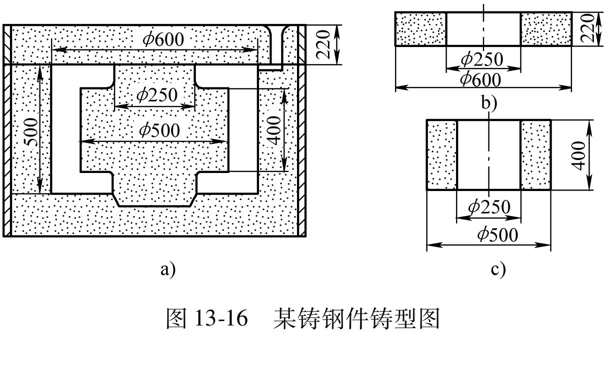


图 13-16　某铸钢件铸型图

解：铸型紧固力等于铸型抬型力和砂芯剩余浮力所产生的抬型力之和，再乘以安

全因数。其中，$F_{型}$ 中的体积 V 按图 13-16b 计算。$F_{芯}$ 中的体积 $V_{芯}$ 按图 13-16c 计算。

$$F_{型}=\rho Vg=7.9\times10^3\times0.8\times(0.6^2-0.25^2)\times0.22\times9.8\text{N}\approx4054\text{N}$$

$$F_{芯}=(\rho-\rho_{芯})V_{芯}g=(7.9\times10^3-1.5\times10^3)\times0.8\times(0.5^2-0.25^2)\times0.4\times9.8\text{N}\approx3763\text{N}$$

铸型紧固力：　$F=K(F_{型}+F_{芯})=1.3\times(4054+3763)\text{N}=10162\text{N}$

答：铸钢件的铸型紧固力为 10162N。

13.16　重型铸钢件起吊力的计算

13.16.1　重型铸件的起吊力

从铸型中吊取大型铸钢件或重型铸钢件，需要很大的起吊力。若此力超过车间起重设备的最大起重力，必须采取相应的措施（例如就地落砂、打箱），否则，就会造成人身和设备事故。因此，正确估计起吊力，也是生产中不可忽视的一环。

铸件的起吊力 = 铸件和浇冒口总重力 + 铸件与砂型的粘着力和粘结力 + 铸件和提冒口系统带起的型芯砂重力　　(13-13)

式中，铸件与型砂的粘着力和粘结力根据铸件本身结构来选定，见表 13-13。

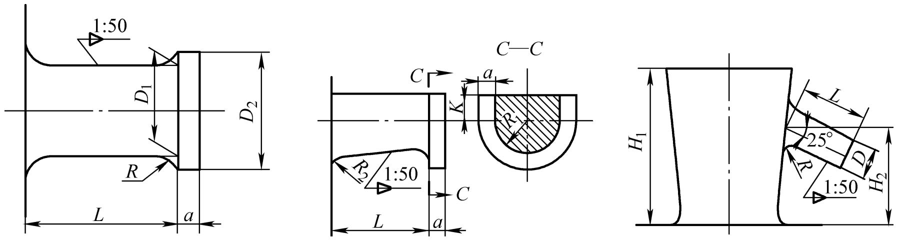
表 13-13　铸件与型砂的粘着力和粘结力取值

铸件结构特点		侧表面的粘着力和粘结力/（10kN/m^2）
铸件有造型斜度		3
铸件有 1∶10 或更大的斜度		2
铸件侧表面有凸台、沟槽，或有影响铸件从砂型中取出的砂芯		侧表面粘结力应增加 0.5
若铸件侧面全是砂芯	在舂湿砂时粘结力取值	2
	在舂干砂时粘结力取值	0.5

13.16.2　砂箱箱把的承受力

对于大型铸件，为方便起吊，还需在铸件或冒口上铸出吊把，吊把的承受力应大于铸件的起吊力。吊把尺寸见表 13-14。

表 13-14　吊 把 尺 寸　　（单位：mm）



A型(用于铸件)　　B型(用于铸件)　　C型(用于冒口)

（续）

A 型						
吊把号	起吊力/10kN	D_1	D_2	L	a	R
1	≤5	70	110	140	20	25
2	6～10	90	130	140	20	25
3	11～20	110	150	140	20	25
4	21～30	130	190	140	20	25
5	31～50	170	230	240	30	45
6	51～100	230	290	240	30	45
7	101～150	280	340	240	30	50
B 型						
吊把号	起吊力/10kN	R_1	K	L	a	R_2
1	≤5	35	35	140	30	25
2	6～10	45	45	140	30	25
3	11～20	55	55	140	30	25
4	21～30	65	65	140	40	25
5	31～50	85	85	240	50	45
6	51～100	115	115	240	50	45
7	101～150	140	140	240	50	45
C 型						
吊把号	起吊力/10kN	D	L	R	H_2	
1	≤5	70	120	25	$\geqslant H_1/2$	
2	6～10	90	120	25	$\geqslant H_1/2$	
3	11～20	110	150	25	$\geqslant H_1/2$	
4	21～30	130	150	25	$\geqslant H_1/2$	
5	31～50	170	200	30	$\geqslant H_1/2$	
6	51～100	230	200	35	$\geqslant H_1/2$	
7	101～150	280	200	35	$\geqslant H_1/2$	

参 考 文 献

［1］ 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：1 卷［M］. 2 版. 北京：机械工业出版社，2002.

［2］ 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：2 卷［M］. 2 版. 北京：机械工业出版社，2002.

［3］ 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：3 卷［M］. 2 版. 北京：机械工业出版社，2002.

［4］ 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：4 卷［M］. 2 版. 北京：机械工业出版社，2002.

［5］ 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：5 卷［M］. 2 版. 北京：机械工业出版社，2006.

［6］ 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：6 卷［M］. 2 版. 北京：机械工业出版社，2004.

［7］ 杜西灵，杜磊. 袖珍铸造工手册［M］. 北京：机械工业出版社，2004.

［8］ 杜西灵，杜磊. 钢铁耐磨铸件铸造技术［M］. 广州：广东科技出版社，2006.

［9］ 杜西灵，杜磊. 铸造实用技术问答［M］. 北京：机械工业出版社，2008.

［10］ 杜西灵，杜磊. 铸工速成与提高［M］. 北京：机械工业出版社，2008.

［11］ 杜西灵，杜磊. 铸造技术与应用案例［M］. 北京：机械工业出版社，2009.

［12］ 机械工业技师考评培训教材编审委员会. 铸造工技师培训教材［M］. 北京：机械工业出版社，2002.

［13］ 机械工业职业技能鉴定指导中心. 高级铸造工技术［M］. 北京：机械工业出版社，2002.

［14］ 机械工业职业技能鉴定指导中心. 中级铸造工技术［M］. 北京：机械工业出版社，2002.

［15］ 李远才，等. 铸造造型材料实用手册［M］. 北京：机械工业出版社，2009.

［16］ 刘瑞玲，范金辉. 铸造实用数据速查手册［M］. 北京：机械工业出版社，2008.

ISBN 978-7-111-36502-0

策划编辑：陈保华

★本手册内容系统全面，其主要内容包括：铸造合金、铸造合金熔炼、砂型铸造工艺基础、造型材料、砂型（芯）的制造、铸型浇注、铸件的落砂与清理、铸件质量检验及评定、熔模铸造、陶瓷型铸造、负压（V法）造型、压力铸造、铸造相关计算。

★本手册以图表为主，手册中所列数据和资料大部分来自生产实践和相关最新标准，实用性强。

★本手册是一本铸造工人必备的实用技术工具书，也可供铸造技术人员和相关专业在校师生查阅和使用。

上架指导：工业技术/机械工程/铸造

ISBN 978-7-111-36502-0

9 787111 365020 >

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

定价：118.00元